

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Konstrukce efektoru pro pokládání kartonových prokladů

The Construction design of effector for placing of cardboard leading

Student:

Michal Vocetka

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Vocetka**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Konstrukce efektoru pro pokládání kartonových prokladů**
The Construction Design of Effector for Placing of Cardboard Leading

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te analýzu současného stavu a navrh'něte varianty řešení možných koncepcí efektoru pro pokládání kartonových prokladů.
2. Proved'te výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty podrobně rozpracujte dle pokynů vedoucího s využitím CAD systému Creo.
4. Výkresovou dokumentaci zpracujte dle pokynů vedoucího.
5. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodno'te dosažené výsledky.
6. Závěr.
7. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD, PDF a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynu vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

- KÁRNÍK, L. *Periferní zařízení RTP*. Skripta VŠB-TUO, Ostrava: 2006, 132 s. ISBN 80-248-1221-5.
- KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.
- SKARUPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Kárník, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu

18.5.2015

V Ostravě



Michal Vocetka

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB-TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo, bakalářskou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 18.5.2015


.....
Michal Vocetka

Michal Vocetka
Bílovecká 56, 747 06 Opava

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vocetka, M. *Konstrukce efektoru pro pokládání kartonových prokladů: Bakalářská práce.* Ostrava: katedra robotiky, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2015, 43 stran. Vedoucí práce Kárník, L.

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí efektoru pro manipulaci s kartonovými proklady, včetně tvorby výkresové dokumentace a montáží tohoto efektoru. Úvodní část seznamuje s problematikou efektorů a vakuové techniky. V práci jsou vytvořeny tři různé konstrukce, ze kterých byla následně vybrána jediná optimální. Dále se práce zabývá vlastní konstrukcí podloženou potřebnými výpočty, výkresovou dokumentací a katalogy použitých komponentů. Také pak návrhem prvků vakuové techniky a vhodného čidla pro měření vzdálenosti efektoru od prokladu.

Vocetka, M. The Construction design of effector for placing of cardboard leading: *Bachelor thesis.* Ostrava: VŠB Technical university of Ostrava, Department of Robotics, 2015, 43 pages. Leadership Kárník, L.

ANOTATION OF THE BACHELOR THESIS

The bachelor thesis is focused on a construction design of effector for placing of cardboard leading, including the drawing documentation and assemblies of this effector. An introductory part acquaints us with effector and vacuum technology issues. Three different constructions were created from which was subsequently selected one optimal. Furthermore, the work deals with its own construction supported by the necessary calculations, drawing documentation and catalogs of the used components. Also then with the design of a vacuum technology components and suitable sensor for measuring distance between cardboard and the effector.

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Ladislavu Kárníkovi, CSc. a také Ing. Milanu Miholovi, Ph.D. za odborné konzultace při zpracování bakalářské práce.

Obsah

1	Seznam použitého značení a zkratek	10
2	Úvod	12
3	Rešeršní část	12
3.1	Vakuová technika	12
3.2	Technické prostředky	13
3.3	Zdroje Vakua	13
3.4	Přísavkové efekторы	14
3.5	Části efektoru	14
4	Požadavkový list	17
5	Varianty řešení	18
5.1	Varianta I	18
5.2	Varianta II.	18
5.3	Varianta III.	20
6	Výběr optimální varianty	21
6.1	Kritéria hodnocení	21
6.2	Popis zvolených kritérií:	21
6.3	Významnost kritérií	22
6.4	Hodnocení variant	22
6.5	Váha významnosti pro jednotlivá kritéria	23
7	Vybraná optimální varianta	25
7.1	Konstrukce	25
7.1.1	Rám	25
7.1.2	Spojovací díly	26
7.1.3	Interface	27
7.1.4	Držák přísavky	27
7.2	Pneumatické prvky	29
7.2.1	Přísavky	29
7.2.2	Ejektor	29
7.2.3	Šroubení	31
7.2.4	Hadice	32
7.3	Montáž vakuových prvků	33
7.4	Senzor pro měření vzdálenosti	33
7.4.1	Vlastnosti senzoru	33

7.4.2	Montáž senzoru.....	36
7.5	Pevnostní kontrola rámu	36
7.5.1	Průhyb centrálního nosníku	36
7.5.2	Výpočet tuhosti šroubu a příruby.....	37
7.5.3	Pevnostní výpočet připojovacích šroubů příruby	39
7.6	Výpočet potřebného tlaku v přísavce [8]	41
7.6.1	Optimální poloha OM.....	41
7.6.2	Nevhodná poloha OM.....	41
7.6.3	Výsledky výpočtu	41
8	Montáž efektoru.....	43
8.1	Montáž držáku přísavky	43
8.2	Montáž spojky rámu.....	44
8.3	Montáž senzoru	44
8.4	Montáž efektoru	44
9	Výsledné parametry efektoru	46
9.1	Výpočet maximální přípustné hmotnosti OM.....	46
9.2	Bezpečnostní pokyny	47
10	Závěr.....	48
11	Použitá literatura.....	49
11.1	Odkazy	49
12	Seznam příloh.....	51

1 Seznam použitého značení a zkratk

a	<i>maximální zrychlení robotu</i>	$m \cdot s^{-1}$
$c_{Př}$	<i>tuhost příruby</i>	$N \cdot mm^{-1}$
c_S	<i>tuhost šroubu</i>	$N \cdot mm^{-1}$
d	<i>průměr šroubu</i>	mm
d_2	<i>střední průměr šroubu</i>	mm
d_3	<i>malý průměr šroubu</i>	mm
d_D	<i>průměr díry v podložce</i>	mm
d_k	<i>průměr hlavy šroubu</i>	mm
d_{red}	<i>průměr Rotcherova válce</i>	mm
d_S	<i>střední průměr stykové plochy matice</i>	mm
E	<i>modul pružnosti v tahu centrálního nosníku</i>	GPa
E_{AL}	<i>modul pružnosti v tahu hliníku</i>	GPa
E_{OCEL}	<i>modul pružnosti v tahu oceli</i>	GPa
F_0	<i>osová síla šroubu</i>	N
F_C	<i>celková ohybová síla</i>	N
$F_{C\ MAX}$	<i>maximální ohybová síla</i>	N
F_P	<i>pracovní síla</i>	N
F_{P1}	<i>pracovní síla na jeden šroub</i>	N
$F_{Př\ min}$	<i>minimální síla v přírubě</i>	N
f_Z	<i>součinitel smykového tření</i>	$[-]$
g	<i>gravitační zrychlení</i>	$m \cdot s^{-1}$
h	<i>délka závitu v záběru</i>	mm
i	<i>počet šroubů</i>	ks
J_x	<i>kvadratický moment průřezu, osa x</i>	cm^4
J_y	<i>kvadratický moment průřezu, osa y</i>	cm^4
l	<i>délky centrálního nosníku, ohybem namáhaná</i>	mm

l_D	<i>délky hladkého dřiku šroubu</i>	<i>mm</i>
l_{P1}	<i>tloušťka podložky</i>	<i>mm</i>
$l_{př}$	<i>tloušťka příruby</i>	<i>mm</i>
l_{ZB}	<i>zbytková délka závitu</i>	<i>mm</i>
m	<i>hmotnost efektoru</i>	<i>kg</i>
m_C	<i>hmotnost efektoru s OM</i>	<i>kg</i>
$m_{C\ RAM}$	<i>hmotnost efektoru</i>	<i>kg</i>
m_{RAM}	<i>hmotnost koncového ramene, excentru a $1/3$ OM</i>	<i>kg</i>
m_{OM}	<i>hmotnost OM</i>	<i>kg</i>
m_u	<i>utahovací moment</i>	<i>Nmm</i>
P	<i>rozteč</i>	<i>mm</i>
s	<i>koefficient nerovnoměrnosti utažení šroubu</i>	<i>[–]</i>
$S_{př}$	<i>plocha Rotcherova válce</i>	<i>mm²</i>
$W_{MAX\ x}$	<i>maximální průhyb, osa x</i>	<i>mm</i>
$W_{MAX\ y}$	<i>maximální průhyb, osa y</i>	<i>mm</i>
α	<i>úhel bachova dvojkužele</i>	<i>°</i>
φ	<i>třecí redukovaný úhel</i>	<i>°</i>
ψ	<i>úhel stoupání závitu</i>	<i>°</i>
b	<i>posunutí přímky</i>	
k	<i>směrnice přímky</i>	
OM	<i>objekt manipulace</i>	

2 Úvod

Robotika je poměrně mladým oborem, nicméně dnes o ní musíme uvažovat, jako o oboru, v průmyslu nenahraditelném. Průmyslové roboty se používají ke svařování, lakování, montáži balení aj. Ovšem samotný robot je nepoužitelný, pokud není vybaven vhodným efektozem.

Tato práce se zabývá návrhem přísavkového efektoru pro manipulaci s kartonovými proklady. Toto zařízení je navrhováno pro manipulaci s kartonovými proklady o rozměru Euro Palety (1200 x 800mm) a do hmotnosti dvou kilogramů. Rovněž se předpokládá rychlost pohybu 1ms^{-1} a zrychlení 1ms^{-2} . Dále je nutná možnost jednoduché změny polohy jednotlivých přísavek, tato se bude provádět manuálně.

3 Rešeršní část

3.1 Vakuová technika.

„Vakuová technika je technický obor, případně vědecký obor, který se zabývá otázkami vytváření a využívání vakua, nebo přesněji řečeno prostředí, ve kterém je tlak plynů nižší než atmosférický tlak.“ [1]

Výhod vakua se začalo prvně využívat v žárovkách, kde se využívá dodnes. V běžném životě se s ním setkáváme třeba ve vysavačích, v dnes již téměř nepoužívaných CRT obrazovkách, jako dokonalá tepelná izolace v termoskách apod.

Vakuová zařízení jsou nedílnou součástí mnoha průmyslových odvětví. Bez využití vakua by bylo jen velmi obtížné uspokojit potřeby potravinářských manufaktur, kde je stlačený vzduch jednou z mála možností hygienické manipulace s výrobkem. Stejně tak je jen těžko představitelná výroba zrcadel, pokovování plastů či výroba moderních výměnných břitových destiček (VBD) ze slinutých karbidů. Zcela běžně se využívá vakuové destilace či filtrace a stejně tak se moderní výrobní provozy neobejdou bez automatických linek, kde se k manipulaci s objektem využívá podtlakových přísavek.

Velmi výhodné je pak použití vakuové technologie k manipulaci s objekty, se kterými je manipulace obecně obtížná a komplikovaná. Především s deskami či tabulemi plechu skla či dřeva apod. o hmotnostech, které mohou přesahovat i 1000kg.



Obr. 1 Příklad manipulace s výliskem či tabulí plechu [2]

3.2 Technické prostředky

Technické prostředky potřebné k vytvoření prostředí se zředěným plynem, tj. především vakuové vývěvy, ale také nejrůznější další prvky pro konstrukci vakuových zařízení nabízejí specializovaní výrobci v mnoha technicky vyspělých zemích.

Požadovaný tlak může tedy mít kteroukoliv hodnotu nižší než atmosféra. Pro snadnější vyjadřování byly zavedeny pojmy jako: hrubé vakuum, nízké vakuum, vysoké vakuum a ultravakuum. [1]

3.3 Zdroje Vakua

Podle normy DIN 28400 je vakuum definováno následovně: „*Vakuum je stav plynu, který má menší hustotu než atmosféra na zemském povrchu. Jako vakuum tedy můžeme označit stav plynu, jehož tlak je nižší, než je tlak atmosférický.*“ [3]

Vývěvy lze rozlišit podle způsobu, jakým dosahují snížení tlaku, na vývěvy transportní a adsorpční. Transportní vývěvy odčerpávají z evakuovaného prostoru molekuly plynu, které procházejí vývěvou, zatímco vývěvy adsorpční tyto molekuly zachycují uvnitř vývěvy. Už jen z tohoto základního rozdělení je patrné, že vývěvy transportní mohou pracovat kontinuálně na rozdíl od vývěv adsorpčních, které obvykle pracují v cyklech. Transportní vývěvy se dále dělí na mechanické a hybnostní. Mechanické vývěvy dosahují snižování tlaku cyklickou změnou objemu ve vývěvě, hybnostní vývěvy předávají molekulám čerpaného plynu rychlostní impuls ve směru čerpání plynu. [2]

3.4 Přísavkové efektory

Efektory jako takové jsou v robotice důležité jako robot samotný, jsou to totiž právě ony, které funkci robotu určují.

Přísavkové efektory jsou jednodušší variantou manipulace s tělesy menší hmotnosti, kdy po přiblížení efektoru, resp. přísavky k objektu manipulace dojde k vytvoření podtlaku v tělese přísavky a uchopení objektu. Tato varianta manipulace je velmi výhodná, především v potravinářství, kdy je nutno dodržet hygienické normy, lze manipulovat s objekty proměnlivých tvarů, produktech zabalených v sáčcích v ochranné atmosféře apod.

Významné je také použití vakuových efektorů pro manipulaci s tělesy, které mají z pohledu manipulace problematické rozměry, především se jedná o desky, či tabule z plechu, dřeva (např. ABS desky) skla apod. Manipulace s takovými objekty by byla obtížná, tyto mají délkové rozměry přesahující i několik metrů s tloušťkou danou v milimetrech, uchopení takového objektu např. za hranu by jej téměř jistě poškodilo, vakuový efektor jej však uchopí za plochu v tom nejvýhodnějším místě, proto je pak manipulace snadná a bezpečná, obzvláště v případě skla, kde je kladen důraz na kvalitu povrchu, která nesmí být žádným způsobem snížena.

Mezi další výhody patří poměrně jednoduchá konstrukce těchto efektorů, z čehož jasně vyplývá i jejich nižší cena, která je však v praxi zcela zásadní.

3.5 Části efektoru

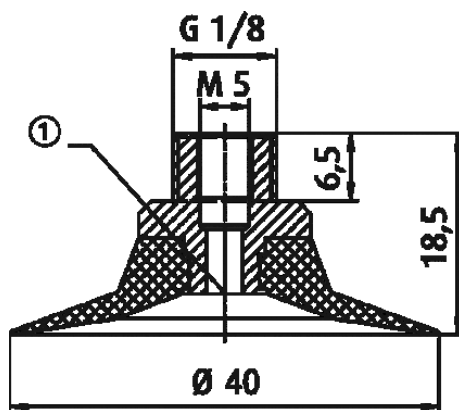
Klasická koncepce přísavkového efektoru uvažuje tuhý rám, většinou z hliníkových profilů různých tvarů. Přísavky mohou být pevné, nebo přestavitelné, a to buďto manuálně, či automaticky, toto je při návrhu nutno vzít v úvahu. Pohyb přísavek v rámu je prováděn mechanicky či pneumaticky, v případě manuální možnosti změny polohy přísavek se jako nejvhodnější možnost jeví využití tvarovaného hliníkového profilu s T drážkou.

Tato konstrukce je spojena s ramenem robotu pomocí příruby, jejíž připojovací rozměry jsou normalizovány.

Přísavky je možno rozdělit na čtyři základní typy. A sice přísavky

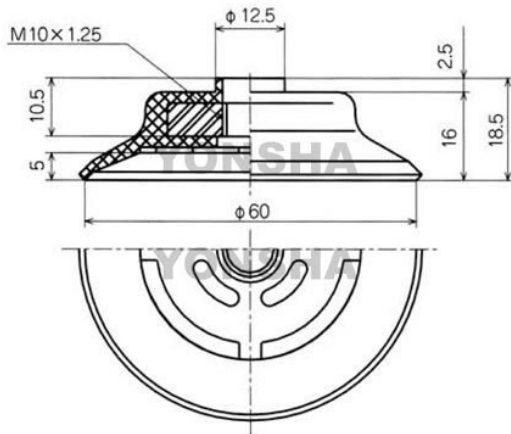
- ploché,
- ploché s opěrnými žebry,
- hluboké,
- přísavky s měchem.

Plochá přísavka je vhodná především k manipulaci s objekty s rovnou plochou a z pevného materiálu.



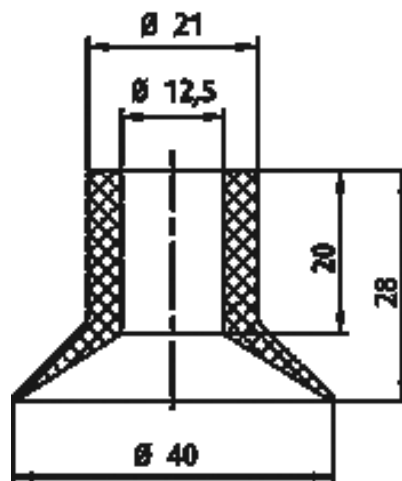
Obr. 2 Plochá přísavka [4]

Ploché přísavky s opěrnými žebry jsou vhodné především pro poddajné materiály (papíry, folie apod.) které by se mohli v přísavce deformovat, či dokonce protrhnout, a také tam, kde síla působí kolmo na osu přísavky. Žebra jsou tuhá a navýší plochu potřebnou k přenosu sil.



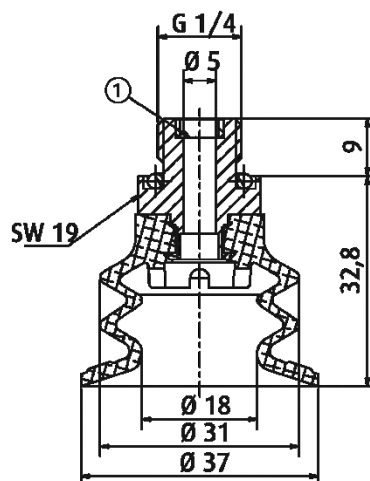
Obr. 3 Plochá přísavka s opěrnými žebry [4]

Hluboké přísavky jsou jako jediné vhodné k úchopům za zaoblené (kulové) plochy, kde by jiné typy přísavek nedokázaly zcela přilnout k povrchu



Obr. 4 Hluboká přísavka [4]

Přísavky s měchem se dokáží přizpůsobit různým nerovnostem, nebo výškovým rozdílům povrchu. Při uchopení předmět mírně nadzvednou. Nehodí se pro přesnou manipulaci s objektem, jelikož mají malou boční tuhost. Viz Obr. 5.



Obr. 5 Přísavka s měchem [4]

Pro uvažovaný návrh se jako nejvhodnější jeví použití plochých přísavek s opěrnými žebry, jelikož objektem manipulace bude kartonový proklad, který by se mohl při použití jiných typů deformovat.

Předběžně se jako nejvhodnější jeví přísavky zn. FESTO řady VASB. Jednotlivé přísavky budou spojeny pomocí tlakových hadic k přírubě, kde budou svedeny do jedné a spojeny rychlospojkou, nebo nástrčným připojením pro snadné odpojení efektoru od zdroje podtlaku.



Obr. 6 Různé typy přísavek [5]

4 Požadavkový list.

- Nízká cena
- Nízká hmotnost
- Nízká spotřeba vzduchu
- Oblast použití: Interiér, výška haly 4m
- Uchopovací člen: Přísavky ploché s opěrnými žebry
- Maximální zrychlení: $a = 1 \text{ ms}^{-2}$
- Rychlost manipulace: $v = 1 \text{ ms}^{-1}$
- Nejméně příznivá poloha OM: Síla od OM působí rovnoběžně s povrchem Přísavky.
- Maximální hmotnost OM: 2kg
- Objekt manipulace: Kartonový proklad, rovný 1200x800mm
- Energie: Tlakový vzduch
- Mastné povrchy: NE
- mokré povrchy: NE
- Prašné prostředí: NE
- Odolnost proti chemii: NE
- Tlumič hluku: NE
- Evakuační čas: 500ms
- Rozsah pracovní teploty: $5^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$

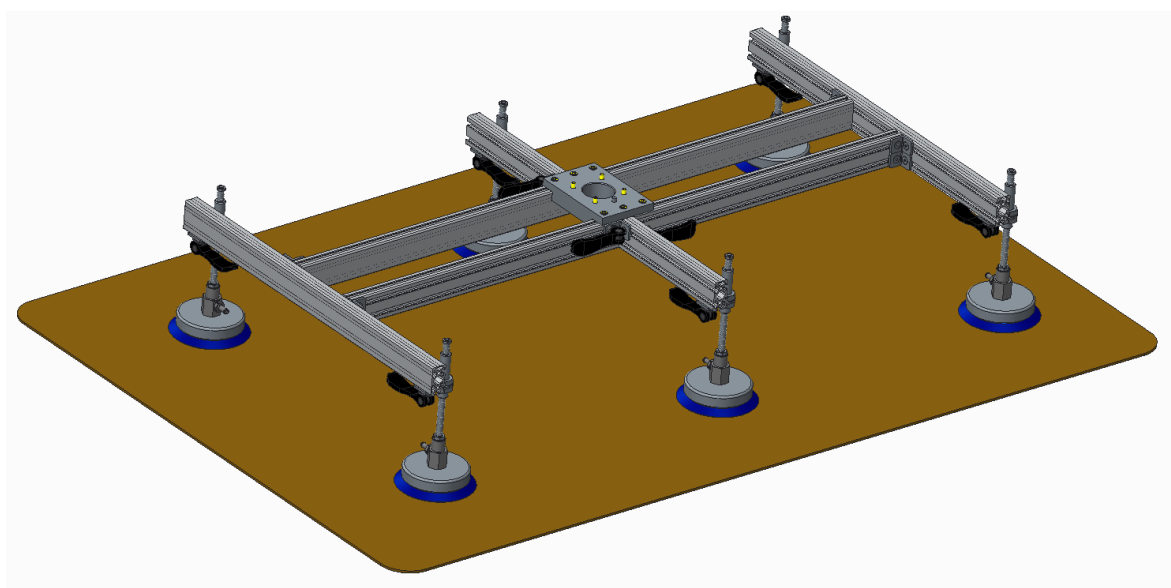
5 Varianty řešení

5.1 Varianta I.

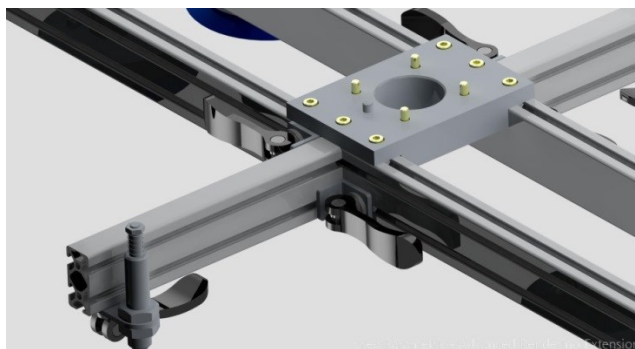
Konstrukce sestává z profilů zn. HABERKORN [6] typ LINE 5 40x20 3N90, natural. Spojení jednotlivých elementů je provedeno pomocí spojovacích prvků téhož výrobce a excentrických páček Kipp viz Obr. 7.

Připojovací příruba bude soustružena a frézována z hliníku a připevněna pomocí šesti šroubů M5x12 12.9. K robotu bude připojena pomocí čtyř šroubů M5 na roztečném průměru 63mm s osazením průměru 40mm (viz dnes již neplatná norma ISO 9409 – 1) viz Obr. 8.

Hmotnost: **8,76 Kg**



Obr. 7 Varianta I



Obr. 8 Detail připojovací příruby a konstrukce rámu

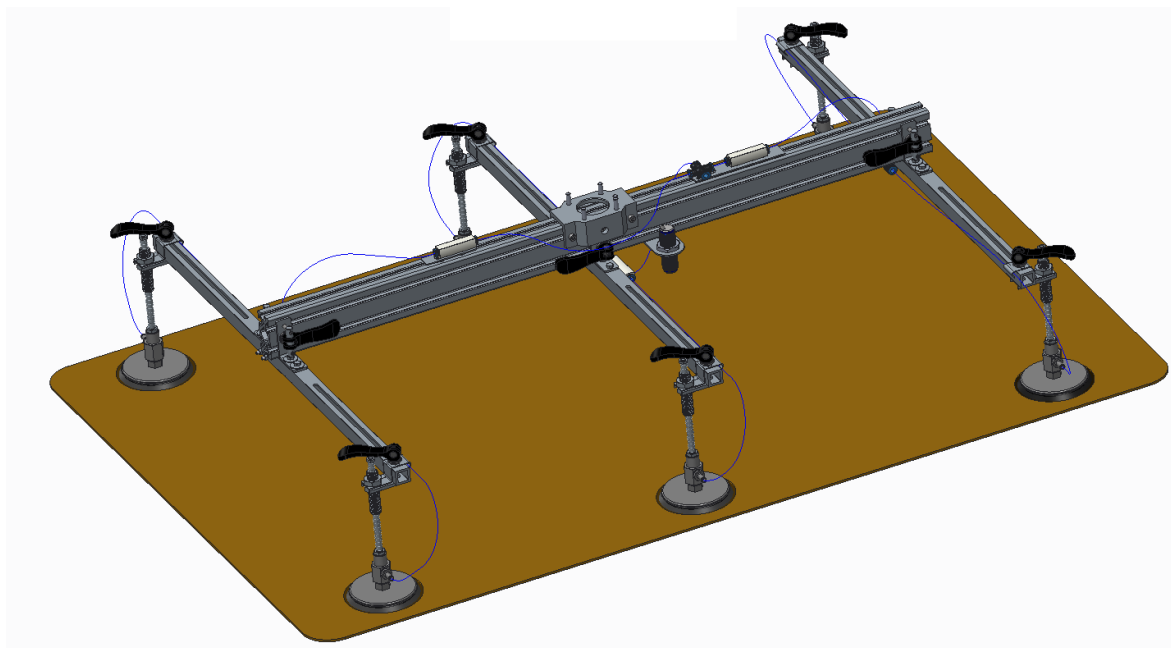
5.2 Varianta II.

Konstrukce je tvořena centrálním nosníkem průřezu 30x60 [6] (výrobce Haberkorn) ke kterému jsou připojena tři ramena klasického čtvercového průřezu 20x20. Všechny

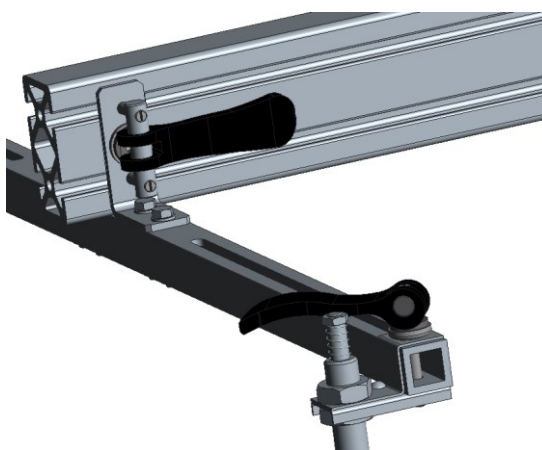
profily jsou hliníkové. Ke každému ramenu jsou pomocí dvou šroubů přišroubovány dva ocelové rohy, které jsou excentrickou upínkou připevněny k centrálnímu nosníku (díky tomu je zaručena rychlá změna polohy a dostatečně tuhé upnutí).

Připojovací příruba bude soustružena a frézována z hliníku a připevněna pomocí šesti šroubů M5x12 12.9. K robotu bude připojena pomocí čtyř šroubů M6 na roztečném průměru 63mm s osazením průměru 40mm (viz dnes již neplatná norma ISO 9409 – 1).

Ramena jsou na stranách odfrézována, vytvořenou drážkou je veden šroub, který drží těleso přísavky, to je rovněž fixováno excentrickou upínkou. Hmotnost: **7,75Kg**



Obr. 9 Varianta II

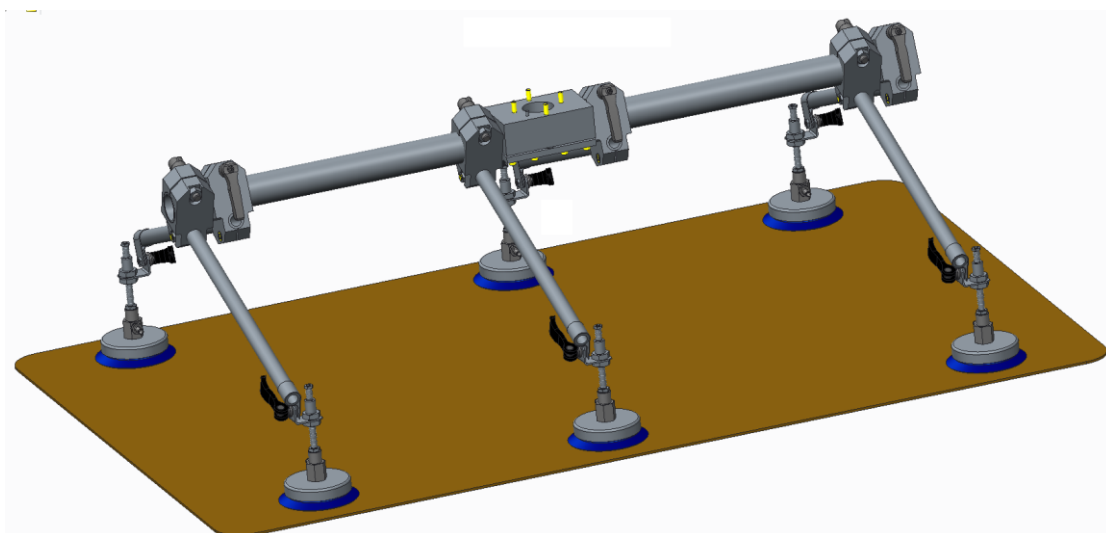


Obr. 10 Detail řešení změny pozic přísavek a ramene

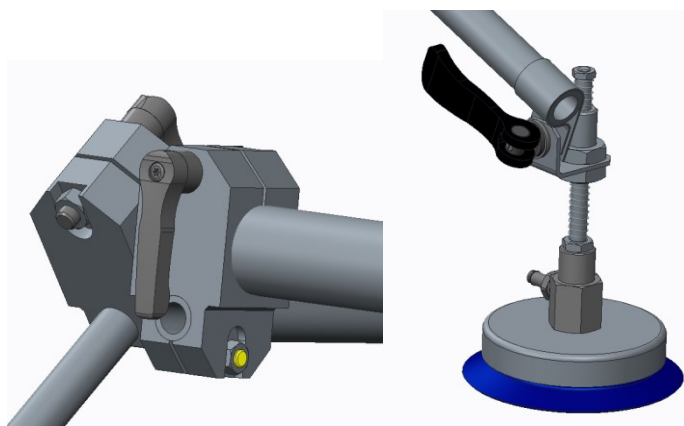
5.3 Varianta III.

Konstrukce je tvořena centrálním nosníkem kruhového průřezu z hliníku, k němu je připojeno šest ramen. Tato jsou tvořena hliníkovou trubkou o průměru 20mm. Celý komplet je pospojován užitím svěrných spojů. Interface je tvořen dvěma kusy, které mezi sebou sevřou centrální nosník.

Připojovací příruba bude frézována z hliníku a připevněna pomocí osmi šroubů M5x30 12.9. K robotu bude připojena pomocí čtyř šroubů M6 na roztečném průměru 63mm s osazením průměru 40mm (viz dnes již neplatná norma ISO 9409 – 1). Přestavování jednotlivých dílu je řešeno buďto excentrickou upínkou, nebo svěrací pákou se závitem. Tato varianta umožňuje manipulaci i tvarově velmi složitých prokladů a to díky možnosti přestavení celého ramene kolem osy centrálního nosníku. Nevýhodou však je menší dosah do dálky (při současném zvyšování dosahu do hloubky) a vyšší hmotnost efektoru. Hmotnost **8,95Kg**



Obr. 11 Varianta III.



Obr. 12 Detail svěrného spojení a naklonění přísavky

6 Výběr optimální varianty

6.1 Kritéria hodnocení

Kritéria hodnocení jsou seřazena od nejvýznamnějších po méně významné a zároveň jsou označena bodovým hodnocením jejich významnosti dle následující tabulky.

Tab. 1 Hodnoty kritérií

Úroveň plnění kritéria	Hodnocení
Vysoká	1
Dobrá	2
Průměrná	3
Nízká	4
Nevyhovující	5

Tab. 2 Zvolená kritéria pro hodnocení

K1	Hmotnost
K2	cena
K3	flexibilita 2D
K4	Flexibilita 3D
K5	Výrobní složitost
K6	Složitost přestavení
K7	Nosnost

6.2 Popis zvolených kritérií:

Hmotnost:	hmotnost efektoru by měla být co nejmenší
Cena:	je nutné navrhnout zařízení co nejlevněji
Flexibilita 2D:	ideálně by mělo být možno obsáhnout přísavkou libovolný bod na prokladu
Flexibilita 3D:	proklad může být tvarově složitý, je proto žádoucí možnost přestavení přísavky i vertikálně
Výrobní složitost:	dalším kritériem je složitost výroby a montáže
Složitost přestavení:	přísavky na efektoru musí být jednoduše přestavitelné
Nosnost:	efektor by měl mít odpovídající nosnost, maximální povolený průhyb jednotlivých ramen činí $W_{\max} = 0,5\text{mm}$

6.3 Významnost kritérií

Tab. 3 Významnost kritérií

Nejvyšší	2
Nejnižší	1

6.4 Hodnocení variant

Tab. 4 Hodnocení variant

Kritérium	Var. I	Var. II	Var. III
K1	3	2	3
K2	3	2	2
K3	4	1	3
K4	2	2	1
K5	1	3	3
K6	3	2	2
K7	2	3	3

Tab. 5 Určení významnosti

						Počet voleb v	pořadí
K1	K1	K1	K1	K1	K1	3,5	3
K2	K3	K4	K5	K6	K7		
	K2	K2	K2	K2	K2	5	1
	K3	K4	K5	K6	K7		
		K3	K3	K3	K3	4,5	2
		K4	K5	K6	K7		
			K4	K4	K4	2,5	5
			K5	K6	K7		
				K5	K5	1,5	7
				K6	K7		
					K6	3	4
					K7	2	6

Závislost váhy významnosti na počtu voleb

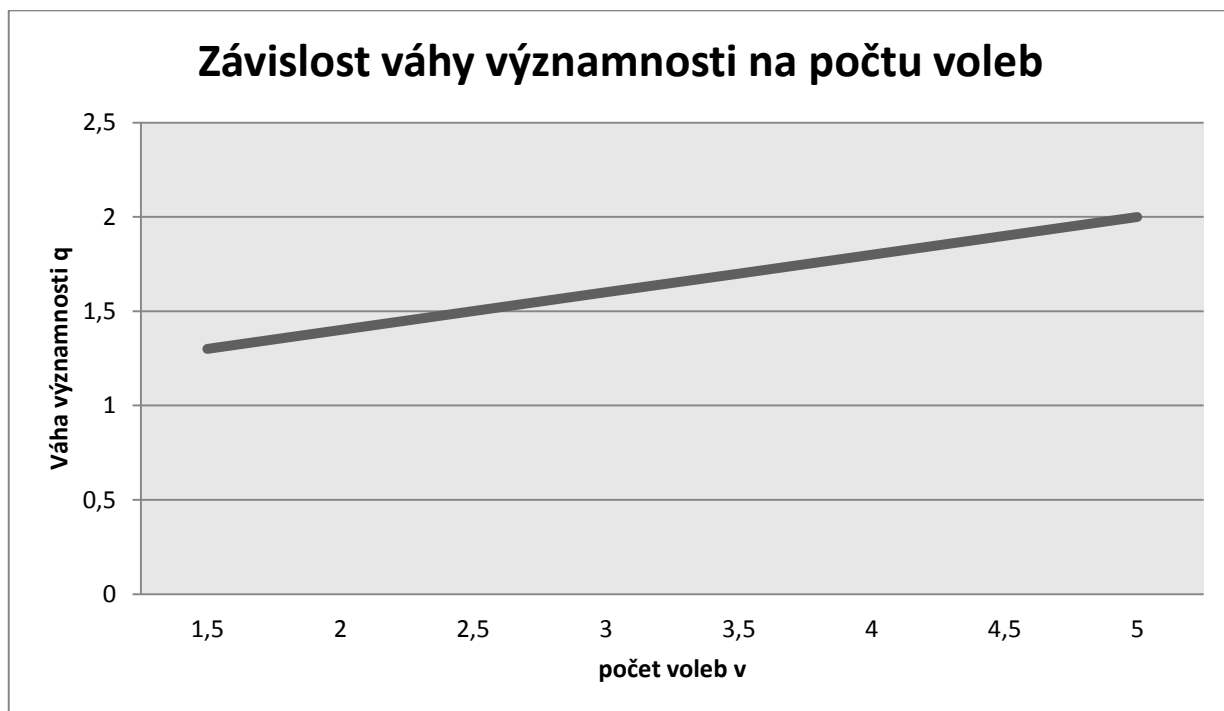
Váha významnosti je lineárně závislá na počtu voleb, můžeme ji tedy popsat lineární rovnicí, jejíž základní tvar je:

$$q = k \cdot v + b \quad (1)$$

- v - počet voleb
- q - váha významnosti
- k - směrnice přímky
- b - posunutí přímky

Po dosazení nejnižší hodnoty a přiřazením nejnižší hodnoty významnosti získáme rovnici, která popisuje naši závislost váhy významnosti na počtu voleb:

$$q = \frac{1}{5}v + 1$$



Obr. 15 Grafické znázornění závislost váhy významnosti na počtu voleb

6.5 Váha významnosti pro jednotlivá kritéria

Tab. 6 Celkový vážený index první varianty

Var. I	Bodové hodnocení	Váha významnosti	Vážený index
K1	3	1,7	5,1
K2	3	2	6
K3	4	1,9	7,6
K4	2	1,5	3
K5	1	1,3	1,3
K6	3	1,6	4,8
K7	2	1,4	2,8
		Σ	30,60

Tab. 7 Celkový vážený index druhé varianty

Var. II	Bodové hodnocení	Váha významnosti	Vážený index
K1	2	1,7	3,4
K2	2	2	4
K3	1	1,9	1,9
K4	2	1,5	3
K5	3	1,3	3,9
K6	2	1,6	3,1
K7	3	1,4	4,2
		Σ	23,50

Tab. 8 Celkový vážený index třetí varianty

Var. III	Bodové hodnocení	Váha významnosti	Vážený index
K1	3	1,7	5,1
K2	2	2	4
K3	3	1,9	5,7
K4	1	1,5	1,5
K5	3	1,3	3,9
K6	2	1,6	3,2
K7	3	1,4	4,2
		Σ	27,60

Optimální varianta je ta s nejnižším váženým indexem. Z předcházejících tabulek je zřejmé, že jde o Variantu II.

Tab. 9 Pořadí

Pořadí	součet indexů	Varianta
1	23,60	II.
2	27,50	III.
3	30,60	I.

7 Vybraná optimální varianta



Obr. 13 Optimální varianta v konečné podobě s veškerou výbavou

7.1 Konstrukce

7.1.1 Rám

Pro centrální nosník je zvolen konstrukční drážkovaný hliníkový profil výrobce Haberkorn [6] rozměrové třídy 6, resp. 30x60 délky 920mm. Připojovací příruba bude soustružena a frézována z hliníku a připevněna pomocí šesti šroubů M5x12. Dále sensorová technika a všechny prvky pneumatické techniky, tedy ejektory, šroubení apod.

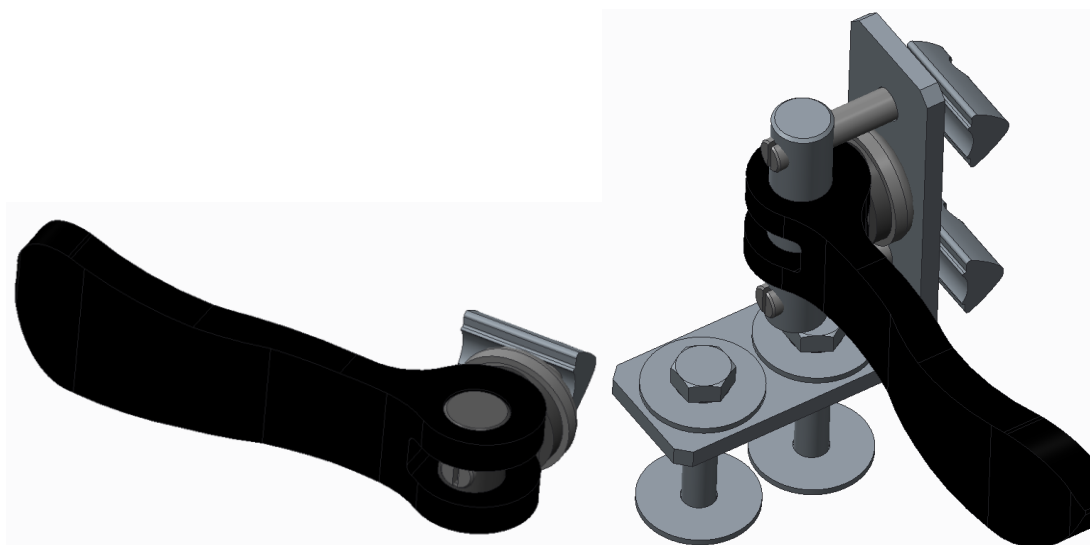
Kolmo k centrálnímu nosníku jsou připevněna hliníková tři ramena, čtvercového průřezu rozměru 20x20mm s tloušťkou stěny 3mm. Každé po stranách opatřeno drážkou šířky 6mm a dlouhou 228mm, v této délce je možno ustavit přísavku. Ramena jsou opatřena dírami pro připojení spojovacích dílů a šroubení viz Obr. 13.

7.1.2 Spojovací díly

Přestavení polohy jednotlivých ramen musí být jednoduché a rychlé, ideálně tedy bez použití jakéhokoliv náradí. Proto jsou zde voleny nastavitelné ocelové excentrické páky výrobce KIPP, konkrétně páka *K0006.101105X20* [7] se zdvihem při uvolnění 1,2mm a upínací silou až **4000N** při velmi příznivém rozměru M5. Tyto páky jsou voleny především díky své robustnosti a příznivé ceně.

Tento upínací mechanismus se skládá z ocelové páky, ve které je excentricky volně uložen čep, do kterého je zašroubovaná závitová tyč, jejímž utažením, popřípadě povolením je možno vymezit případné vůle a docílit tím optimálního sevření. V profilu jsou na závitové tyči našroubovány tvarované matice pro tvarové profily, které dodává jejich výrobce. Excentrická páka je samosvorná jen za předpokladu, že je utažena v úhlu devadesáti stupňů k závitové tyči! Jakýkoliv jiný stav je nepřijatelný a výrobce nenese žádnou odpovědnost za případné uvolnění.

Konkrétně v této aplikaci je páka použita nejen tak, jak ji dodává výrobce, ale také s rozdvojeným čepem, který je nutno vyrobit nezávazně na výrobcí Kipp. K tomuto řešení je přistoupeno ke zvýšení tuhosti koncových ramen upnutím na čtyři, místo pouhých dvou drážek centrálního nosníku při současném použití pouhých dvou pák, díky čemuž nenaroste hmotnost, cena a ani se nezkomplikuje práce se zařízením. Celý konstrukční celek je vždy pomocí dvou šroubů M5x35 napevno přišroubován k rameni a pomocí páky upevněn k centrálnímu nosníku.

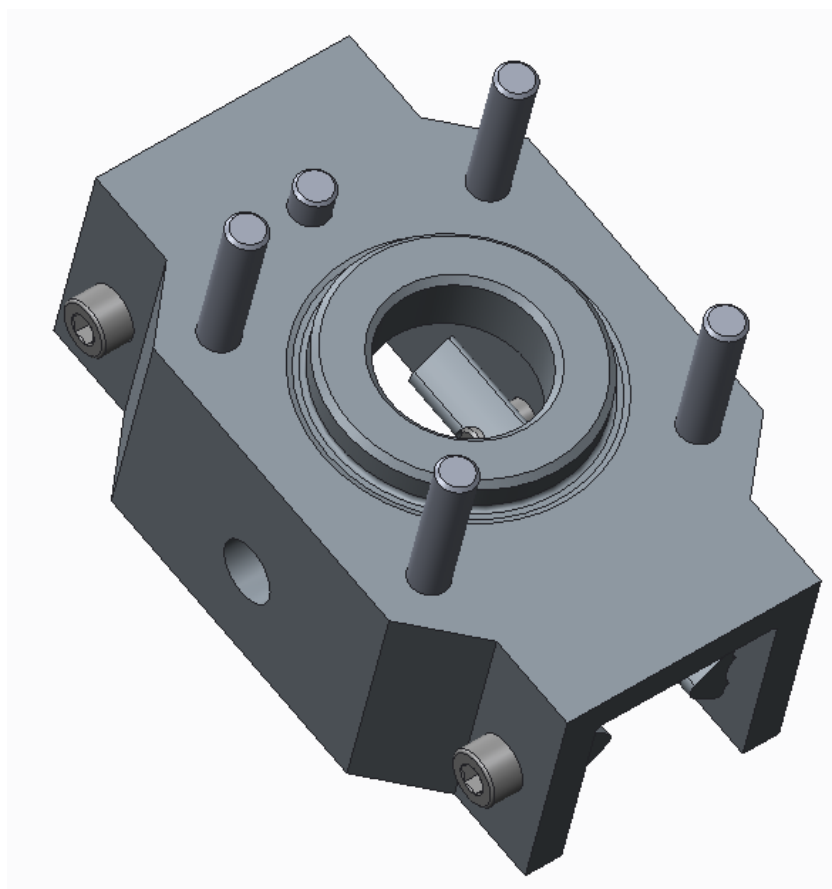


Obr. 14 Konstrukční celek jednoduchého a dvojitého excentru

7.1.3 Interface

Připojovací příruba je frézována z plného materiálu na rozměr 100 x 62 x 35. Připevněna bude pomocí šesti šroubů M5x12 8.8 a tvarových matic určených pro tvarové profily Haberkorn.[6] K robotu bude připojena pomocí čtyř šroubů M6x40 12.9 na roztečném průměru 63mm s osazením průměru 40mm (viz dnes již neplatná norma ISO 9409 – 1) Viz Obr 15. Na roztečném průměru bude odvrtána ještě díra pro střižný kolík průměru pět milimetrů.

Příruba bude nasazena na centrální nosník a upnuta v jeho středu.

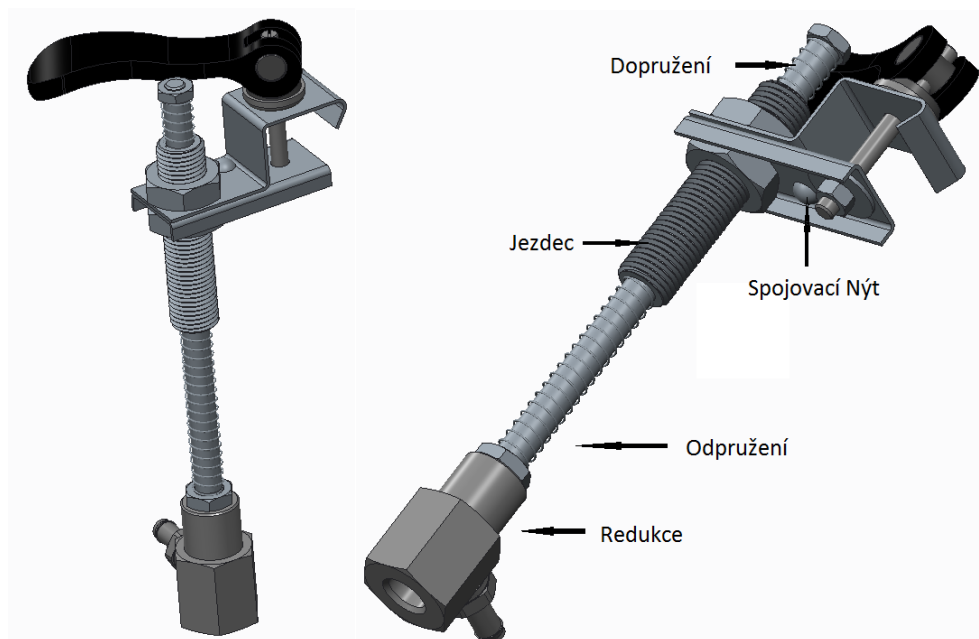


Obr. 15 Sestava připojovací příruby

7.1.4 Držák přísavky

Při použití vakuových přísavek musí být zajištěno přitlačení přísavky k přísávanému tělesu. Aby byl zajištěn dokonalý kontakt, je toto těleso držáku odpruženo. Navíc je možno upravit jeho výšku dle potřeby, a to až o 50mm. Díky tomu lze tento efektor použít i pro manipulaci s tvarově složitými proklady.

K upevnění držáku k profilu ramene je použita excentrická páka, viz kap. 7.1.2.



Obr. 16 Sestava tělesa držáku přísavky

Těleso držáku je sestaveno z adaptéru, kterým je veden tlakový vzduch od nátrubku k přísavce. Přísavka je přišroubována na spodní závit G1/4, nátrubek a zbytek držáku se pak šroubují do dír se závitem M8. Do tohoto adaptéru je shora zašroubována vodící část, která je aretována nízkou maticí M8 (dle DIN439B/A4) dále je nasazena dlouhá pružina o kterou se opře závitová trubice, na které se pomocí dvou matic M16 (dle DIN439B/A4) nastaví požadovaná poloha objímky. Dále se nasadí krátká pružina, která zajistí rovnoměrnější dopružení a celý celek je uzavřen maticí M6 (ČSN 021401.25).

Objímka je tvořena dvěma díly, z hlubokotažného plechu (mat. 11 300.0) tyto jsou spojeny jedním nýtem. V pravé části obepínají profil ramene. V této části je vedena excentrická páka, na spodní straně podložena karosářskou podložkou M5 a samojistnou maticí. Při uvolnění páky se uvolní i předpětí v matici, avšak silonový kroužek této samojistné matice znemožní její pootočení. Výstupek na konci objímky slouží k protažení hadice na stlačený vzduch.

7.2 Pneumatické prvky

7.2.1 Přísavky

Všechny pneumatické prvky jsou voleny od výrobce FESTO [8] a to především z důvodu zaručení vzájemné kompatibility jednotlivých prvků.

V této aplikaci je voleno šest přísavek typu VAS průměru 100mm. Přísavky jsou standardního tvaru a jsou vyrobeny z PERBUNANU, ovšem pokud by byl požadavek na použití v potravinářském průmyslu, nebo prostředí s vyšší teplotou, je možno vyměnit za přísavky VAS-100 z jiného materiálu, viz Obr. 19.

materiál		
perbunan (NBR)		
-10 ... +70 °C		pro mastné výrobky
vysoký lesk		pro hladké povrchy (sklo)
antistatický perbunan		
-10 ... +70 °C		pro mastné výrobky
antistatický		
polyuretan		
-20 ... +60 °C		pro mastné výrobky
		pro hladké povrchy (sklo)
		pro hrubé povrchy (dřevo, kámen)
fluorkaučuk (FPM)		
-10 ... +200 °C		pro mastné výrobky
		pro hladké povrchy (sklo)
silikon		
-30 ... +180 °C		
vhodn. pro potraviny		

Obr. 17 Přehled materiálů přísavek výrobce FESTO

Vzhledem k rozměrům a materiálu objektu manipulace jsou volen menší počet přísavek o velkém průměru. Kartonový proklad není však příliš odolný proti velkým vnějším silám, proto je třeba pracovat s nízkou hodnotou vakua, aby nedošlo k jeho zborcení.

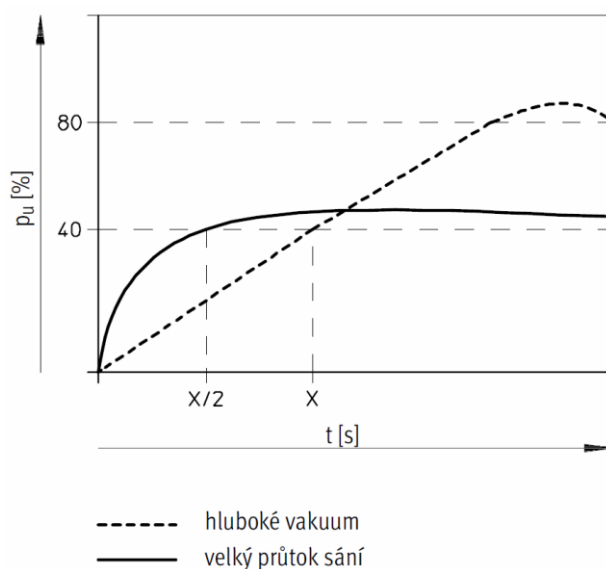
7.2.2 Ejektor

Jako nejvhodnější se pro tuto aplikaci jeví ejektory řady VN přímého tvaru. Ten vyniká především malými rozměry a velmi příznivou cenou.

Ejektory VN [8] se vyrábí ve dvou základních skupinách:

- hluboké vakuum,
- vysoký objemový průtok.

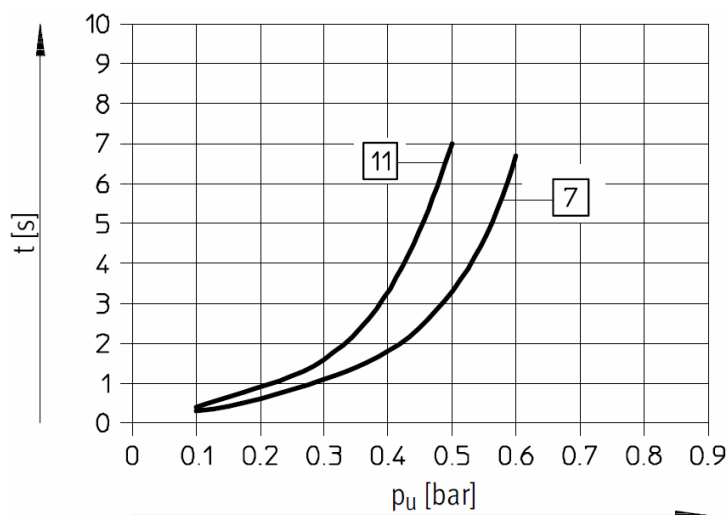
Zde je volen typ pro velký objemový průtok, aby se snížil čas na odsávání vzduchu z prostoru přísavek a hadic.



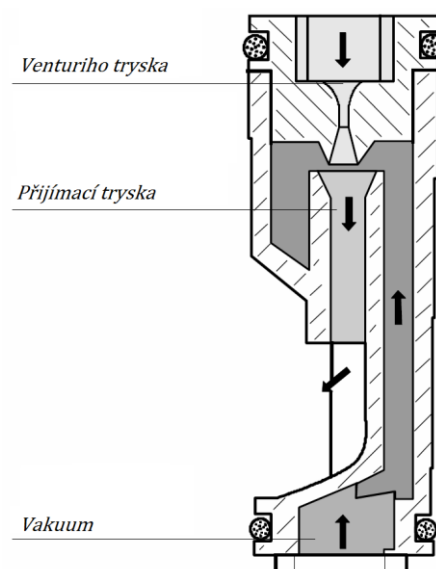
Obr. 18 Porovnání systému pro hluboké vakuum / velký objemový průtok [8]

Zde je volen typ VN_05_N_L3_PQ2_VQ2.

Ejektor je jednostupňový a využívá principu Venturiho trubice. Tento model je určen pro práci v rozsahu teplot od $0^\circ - 60^\circ$ a provozní tlak do 8BAR. Připojení tlakového vzduchu i vakua je řešeno nástrčnými koncovkami QS6. Přímý tvar má připojení vakua i stlačeného vzduchu v jedné ose a se svedeným odvětráním stranou. Díky tomu lze tento typ zapojit přímo do hadice.



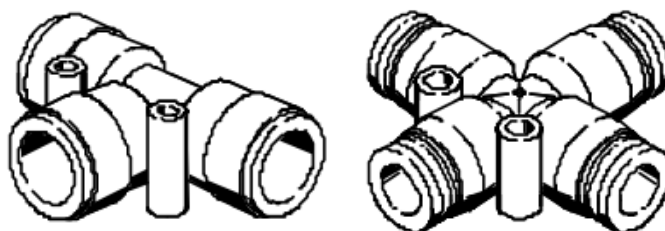
Obr. 19 Čas nutný na odsátí jednoho litru v závislosti na vakuu při provozním tlaku 6BAR pro konkrétní typ VN_05_N_L3_PQ2_VQ2 (znázorňuje křivka 11) [8]



Obr. 20 Princip funkce jednostupňového ejektoru fungujícího na principu Venturiho trubice [8]

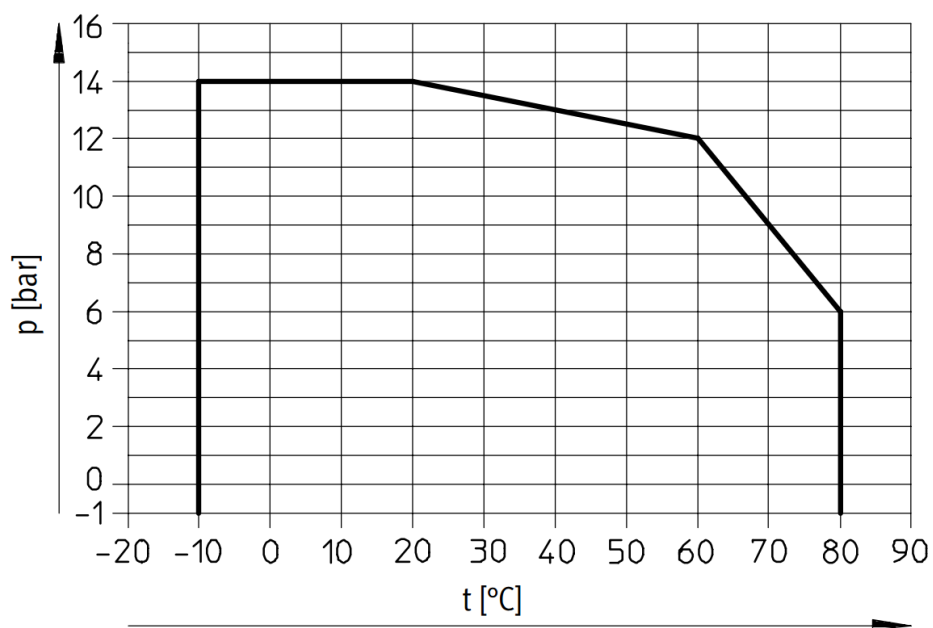
7.2.3 Šroubení

Šroubení s nástrčnými koncovkami QSM Quick Star je malé šroubení pro vysokou hustotu montáže na velmi malém prostoru. Vhodné pro pneumatické úlohy s rozsahem teplot do 80 °C a rozsahem tlaku do 14 barů. Výrobce FESTO [8] nabízí širokou škálu velikostí i tvarů.



Obr. 21 Nástrčné šroubení tvarů T a X [8]

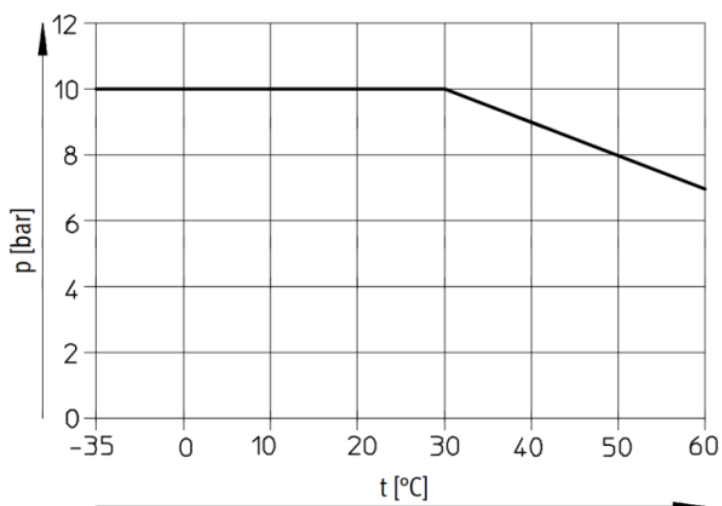
V tomto případě jsou použita šroubení tvaru T pro svedení hadic od dvou přísavek k jednomu ejektoru a tvar X pro rozvod tlakového vzduchu z centrálních rozvodů k jednotlivým ejektorům. Montáž je možná díky dvěma dířům průměru 3,2mm.



Obr. 22 Závislost maximálního přípustného tlaku na teplotě [8]

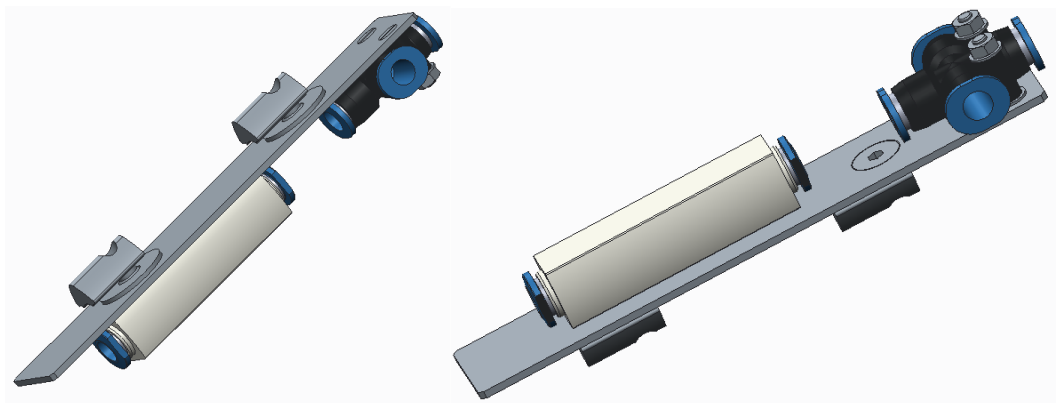
7.2.4 Hadice

Propojení jednotlivých prvků je provedeno pomocí hadic FESTO *PUN – E – 6 x 0,8 – BL*. [8] Hadice jsou vyrobeny z polyuretanu a jsou vhodné pro použití v kombinaci s nástrčnými koncovkami QSM Quick Star. Pro teploty v rozsahu -35° až 60°C a tlak max. 10BAR.



Obr. 23 Závislost maximálního provozního tlaku na teplotě [8]

7.3 Montáž vakuových prvků



Obr. 24 Montážní deska ejektoru

Vakuové ejektory typu VN přímého tvaru jsou primárně určeny pro připojení přímo mezi hadice, nemají tedy připojovací prvky ani montážní otvory. Pro připojení dvou ejektorů k centrálnímu nosníku je tedy nutné vyrobit jednoduchou montážní desku viz Obr 26, ke které bude ejektor uchycen pomocí poplastovaných nerezových pásek s perforací [9] které budou obepínat desku s ejektorem mezi podložkami. Deska bude přišroubována k centrálnímu nosníku pomocí dvou zápusťných šroubů M5 a tvarových matic. Šroubení bude šroubováno ze spodní strany desky, pomocí dvou zápusťných šroubů M3 viz obrázek.

Pomocí stejných pásek bude uchycen i třetí ejektor na prostředním rameni, pásky budou vedeny mezi šrouby uchycení excentru k rameni.

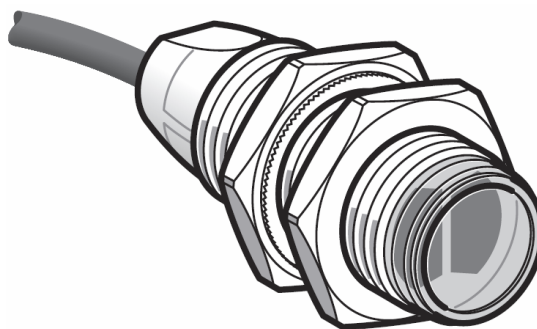
Pro případné přichycení hadic lze dle potřeby použít vázací plastové pásky vhodného rozměru.

7.4 Senzor pro měření vzdálenosti

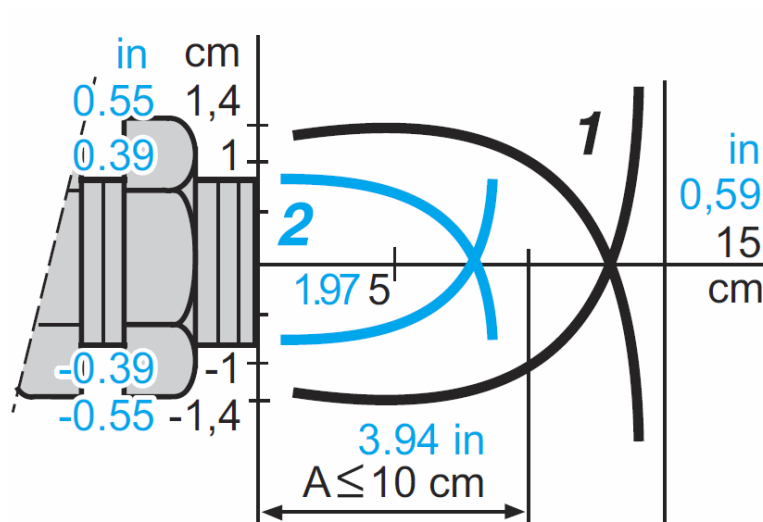
7.4.1 Vlastnosti senzoru

Pro správnou funkci zařízení je nezbytné, aby měl řídicí systém informaci o vzdálenosti prokladu a tedy i o tom, zda jsou přísavky přitlačeny tak, jak mají být. Měření bude prováděno jedním senzorem, který detekuje jakýkoliv objekt do vzdálenosti 100mm.

Zde je použit průmyslový válcový difuzní fotoelektrický senzor PANASONIC CY-121A-P. [10]



Obr. 25 Náčres senzoru [10]



Obr. 26 Detekční křivky [10]

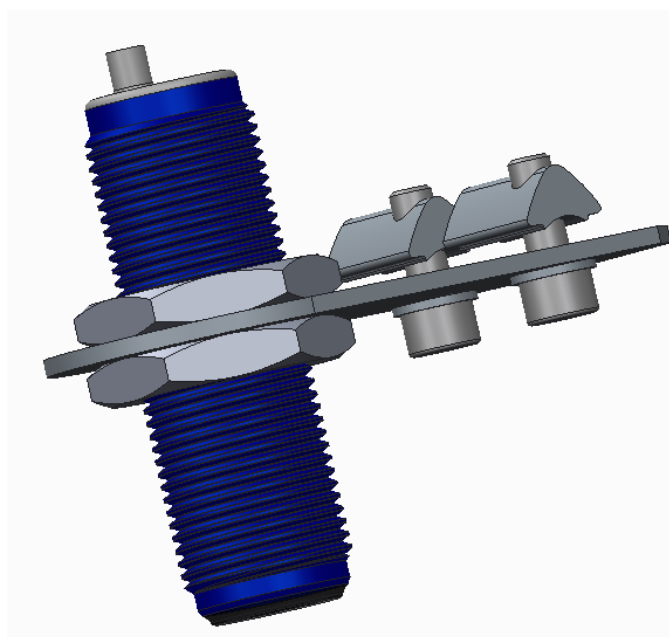
Modrá křivka na Obr. 26 znázorňuje maximální detekční vzdálenost objektu světle hnědé barvy. Černá křivka platí pro bílý objekt.

Tab. 10 Specifikace senzoru [10]

Snímací rozsah		100mm / 150mm (tmavý povrch / světlý povrch)
Snímaný objekt		Neprůhledný, průsvitný nebo průhledný objekt
Hystereze		3 – 15% z provozní vzdálenosti
Napájecí napětí		12 to 24 V DC ± 10 % Zbytkové P-P 10 % nebo méně
Spotřeba proudu		35mA nebo méně
Výstup		PNP s otevřeným kolektorem tranzistoru Maximální zdroj proudu: 100 mA <ul style="list-style-type: none"> • Použité napětí: 24 V DC nebo méně (mezi výstupem a + V) • Zbytkové napětí: 1,5 V nebo méně
Kategorie užití		DC-12 or DC-13
Ochrana proti zkratu		Začleněna
Indikátor provozu		Žlutá LED (svítí, když je senzor v provozu)
Odolnost proti vnějším vlivům	Stupeň znečištění	3 (průmyslové prostředí)
	Ochrana	IP67(IEC)
	Okolní teplota	-25 Až 55 ° C (bez kondenzace nebo námrazy), skladování: -40 až +70 ° C
	Okolní vlhkost	50 % RH (při +70 °C)
	Okolní osvětlení	Umělé světlo 5000 lx
	EMC	EN 60947-5-2
	Napětí	500 V AC po dobu jedné minuty. Mezi všemi svorkami spojených dohromady a zakrytovanými.
	Odolnost proti vibracím	Frekvence 10 až 55 Hz, 0,5 mm 0,02 v amplitudě v ose X, Y a Z po dobu 1,5 hodiny
	Odolnost proti rázům	Maximálně při zrychlení 294 m / s ² (přetížení cca 30G) V osách X, Y a Z pro každou třikrát
Vysílací prvek		Infračervená LED (modulovaná)
Špičková emisní vlnová délka		875nm
Materiál		Krytí: PBT Čočka: PMMA
Kabel		Průřez: 0,44mm ² trojitý Délka 2m
Prodloužení kabelu		Prodloužení až do celkové délky 10 m je možné s kabelem průřezu 0,34 mm ² , nebo větším. (jednocestný typ: vysílač i přijímač).

7.4.2 Montáž senzoru

Maximální dosah senzoru závisí na barvě materiálu, a je v rozsahu od 150mm pro bílé povrchy do zhruba 100mm pro tmavé povrchy. Proto je nutno pro požadovaný typ prokladu, resp. jeho barvu ručně ustavit senzor do určité výšky tak, aby před zastavením robotu došlo k propružení o 20mm. Toto lze jednoduše provést pomocí dvou matic, které se šroubují po těle senzoru, čímž je možné jej aretovat v libovolné poloze. Pokud by byl použit leskle bílý povrch a ani maximální vyložení senzoru by tuto podmínku nesplnilo, je nutné celý senzor i se zavěšením upnout na vrchní drážku centrálního nosníku. Tím se výška od prokladu zvýší o zhruba 60mm.



Obr. 27 Senzor se zavěšením

7.5 Pevnostní kontrola rámu

7.5.1 Průhyb centrálního nosníku

Kvadratický moment průřezu, osa x: $J_x = 5,54cm^4$

Kvadratický moment průřezu, osa y: $J_y = 21,22cm^4$

Modul pružnosti profilu: $E = 71GPa$

Délka nosníku (ohybem namáhaná): $l = 421mm$

Hmotnost ramene a přísavek: $m_{RAM} = 1,58Kg$

Hmotnost objektu manipulace: $m_{OM} = 2Kg$

Maximální zrychlení robotu: $a = 1ms^{-1}$

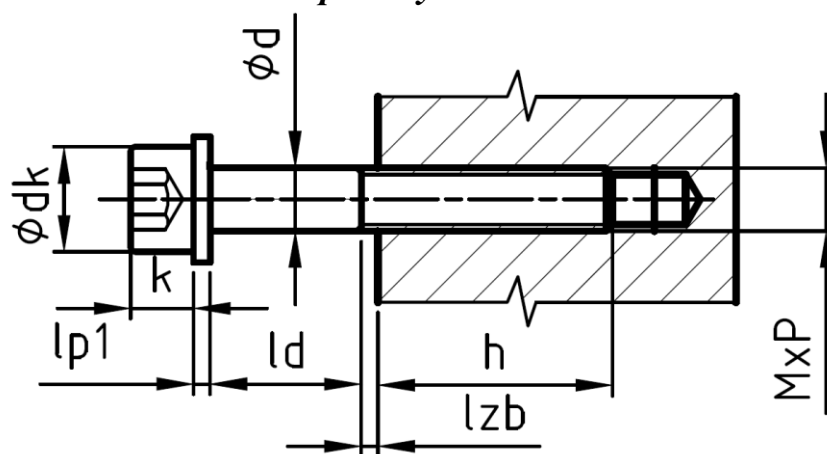
Celková hmotnost ramene: $m_{C RAM} = m_{RAM} + \frac{1}{3}m_{OM} = 1,58 + \frac{1}{3} \cdot 2 = 2,246Kg$ (2)

Celková ohybová síla: $F_C = mg = m_C(g + a) = 2,246 \cdot (9,81 + 1) = 24,286N$ (3)

Maximální průhyb, osa x: $W_{MAX x} = \frac{F_C \cdot l^3}{3E \cdot J_x} = \frac{0,024 \cdot 427^3}{3 \cdot 71 \cdot 212200} = 0,041mm$ (4)

Maximální průhyb, osa y: $W_{MAX y} = \frac{F_C \cdot l^3}{3E \cdot J_y} = \frac{0,024 \cdot 427^3}{3 \cdot 71 \cdot 55400} = 0,158mm$ (5)

7.5.2 Výpočet tuhosti šroubu a příruby



Obr. 28 M6x40 8.8

Střední průměr závitu: $d_2 = 5,35[mm]$

Malý průměr závitu: $d_3 = 4,773[mm]$

Stoupání závitu: $Ph = 1 [mm]$

Průměr hlavy šroubu: $d_k = 10 [mm]$

Průměr dříku šroubu: $d = 6 [mm]$

Tloušťka podložky: $l_{p1} = 1,4 [mm]$

Výška hlavy: $k = 6 [mm]$

Zbytková délka závitu: $l_{zb} = 1,4 [mm]$

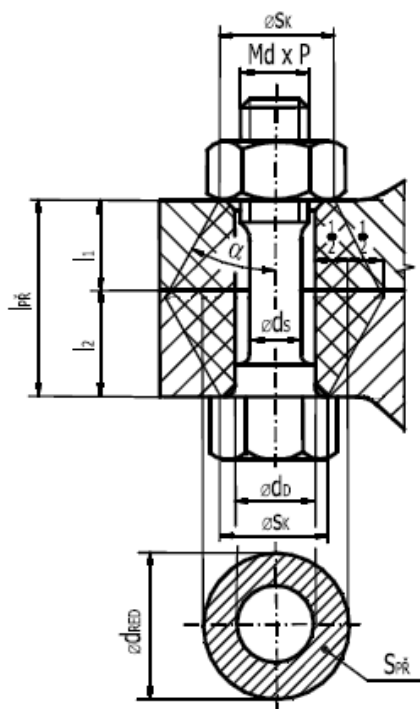
Délka zašroubované části závitu: $h = 22,6 [mm]$

Výpočet tuhosti šroubu c_s : [11]

$$\frac{1}{c_s} = \frac{1}{E_s} \cdot \sum_i \frac{l_{si}}{S_{si}} = \frac{1}{E_s} \cdot \left[\frac{\frac{1}{2} \cdot h}{\pi \cdot \left(\frac{d_2}{2}\right)^2} + \frac{l_{zB}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} + \frac{l + \frac{2}{3} \cdot k + l_{p1}}{\pi \cdot \left(\frac{d_D}{2}\right)^2} \right]$$

$$\frac{1}{c_s} = \frac{1}{2,1 \cdot 10^5} \cdot \left[\frac{\frac{1}{2} \cdot 22,6}{\pi \cdot \left(\frac{5,35}{2}\right)^2} + \frac{1,4}{\pi \cdot \left(\frac{4,773}{2}\right)^2} + \frac{16 + \frac{2}{3} \cdot 6 + 1,4}{\pi \cdot \left(\frac{6,4}{2}\right)^2} \right] = 5,727633 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{1}{c_s} = 5,727633 \cdot 10^{-6} \rightarrow c_s = 174\,592 \, \text{N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (7)$$



Obr. 29 obecný příklad rozložení tlaku v přírubě u obecného spoje – Bachův dvojkužel [11]

Při výpočtu tuhosti se neuvažují podložky. Zasažená část příruby je ve tvaru komolého dvojkužele který je však pro výpočet nevhodný, jelikož nelze zcela určit deformovaný průřez. Proto je pro potřeby výpočtu nahrazen Rotcherovým válcem. Nahrazení spočívá v redukci dvojkužele na válec stejného objemu, který se bude deformovat stejně.

Plocha válce: $S_{př} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{red}^2 - d_D^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (14,19^2 - 6,4^2) = 125,97 \text{ mm}^2 \quad (8)$

Z geometrie redukce (obr. 31) pro vnější, tzv. redukovaný průměr trubky platí vztah:

$$d_{red} = d_K + \frac{l_{př}}{2} \cdot tg\alpha = 10 + \frac{10}{2} \cdot tg40 = \mathbf{14,19\ mm}, \quad (9)$$

kde úhel komolého dvojkužele reálných přírub tlakově odlitých ze slitiny hliníku $\alpha = (35 \div 40) [^\circ]$. Přesné určení úhlu alfa je obtížné, pokud je v praxi třeba je pro jeho zjištění provést pevnostní analýzu v příslušném softwaru. **Voím $\alpha=40^\circ$.** [11]

Tuhost příruby:
$$c_{př} = \frac{E_{AL} \cdot S_{př}}{l_{př}} = \frac{7,5 \cdot 10^4 \cdot 125,97}{16} = \mathbf{590\ 484\ N \cdot mm^{-1}} \quad (10)$$

Z hlediska dynamického namáhání šroubu je třeba, aby tuhost příruby byla větší než tuhost šroubu. Čím větší jejich poměr bude, tím menší bude amplituda dynamického namáhání šroubů.

$$\frac{c_{př}}{c_s} = 3,38 [-] \quad (11)$$

7.5.3 Pevnostní výpočet připojovacích šroubů příruby

S ohledem na charakter zatěžování a rozměry centrálního nosníku byla zvolena příruba s roztečným průměrem 63mm, kde spojení zajišťují čtyři šrouby **M6x40 8.8 – černěné**. Příruba i Interface robotu jsou hliníkové.

Koeficient nerovnoměrnosti utažení šroubů po obvodu: $s = 1,2 [-]$

Počet šroubů: $i = 4 [ks]$

Průměr díry v podložce: $d_D = 6,4 [mm]$

Modul pružnosti v tahu pro ocel: $E_{OCEL} = 210 [GPa]$

Modul pružnosti v tahu pro hliník: $E_{AL} = 75 [GPa]$

Celková nesená hmotnost: $m_C = m + m_{OM} = 8,17 + 2 = 10,17Kg \quad (12)$

Pracovní síla šroubů: $F_P = m(g + a) = 10,17(9,81 + 1) \cong 110N \quad (13)$

Pracovní síla jednoho šroubu: $F_{P1} = s \cdot \frac{F_P}{i} = 1,2 \cdot \frac{110}{4} \cong 33N \quad (14)$

$$\text{Utahovací moment:} \quad M_u = F_0 \cdot tg(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f \cdot \frac{D_s}{2} \quad (15)$$

kde D_s je střední průměr stykové plochy matice a podložky určím ze vztahu:

$$D_s = \frac{D_K + d_D}{2} = \frac{10 + 6,4}{2} = \mathbf{8,2 \text{ mm}} \quad (16)$$

úhel stoupání závitu určím ze vztahu:

$$\psi = \arctg \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{1}{\pi \cdot 5,35} = \mathbf{3,404^\circ} \quad (17)$$

a pro třecí redukovaný úhel platí vztah:

$$\varphi' = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctg \frac{0,3}{\cos \frac{60}{2}} = \mathbf{19,106^\circ} \quad (17)$$

Součinitel smykového tření na závitu f_z jsem zvolil z tabulky TAB7.5.2 konkrétně hodnotu **0,3** což odpovídá černěnému povrchu šroubu a neupravenému povrchu matice při nemazaném stavu.

Tab. 10 Součinitele smykového tření na závitu [11]

Povrch matice	Povrch šroubu	Součinitel smykového tření na závitu f_z [-]	
		nemazaném	mazaném olejem
neupravený	neupravený	0,19 ÷ 0,36	0,16 ÷ 0,24
	fosfátovaný	0,28 ÷ 0,40	0,17 ÷ 0,30
	černěný	0,27 ÷ 0,36	0,25 ÷ 0,28
	zinkovaný	0,13 ÷ 0,22	0,13 ÷ 0,18
	kadmiovaný	0,10 ÷ 0,18	0,10 ÷ 0,17
zinkovaný	zinkovaný	0,21 ÷ 0,43	0,11 ÷ 0,17
kadmiovaný	kadmiovaný	0,15 ÷ 0,38	0,10 ÷ 0,17

$$\text{Minimální síla v přírubě:} \quad F_{př \min} = \psi \cdot F_{p1} = 0,8 \cdot 33 = 26,4N \quad (18)$$

Součinitel těsnosti se volí $\psi = (0,3 \div 1,3)$ [-]

Osová síla šroubu:

$$F_0 = F_{př \min} + \Delta F_{př} = F_{př \min} + F_{p1} \cdot \frac{c_{př}}{c_{př} + c_s} = 26,4 + 33 \cdot \frac{832 \ 275}{832 \ 275 + 174 \ 592} \quad (18)$$

$$F_0 = 53N$$

Utahovací moment:

$$M_u = F_0 \cdot tg(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} + F_0 \cdot f \cdot \frac{D_s}{2} = 53 \cdot tg(3,404 + 19,106) \cdot \frac{5,35}{2} + 53 \cdot 0,3 \cdot \frac{8,2}{2}$$

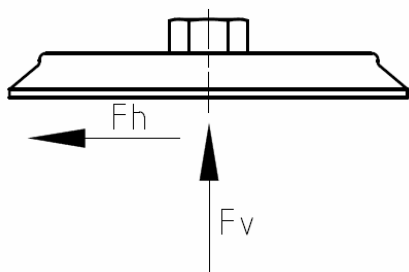
$$M_u = 123,94Nm \rightarrow 0,124Nm \quad (15)$$

S ohledem na charakter zatěžování a užívání efektoru volím utahovací moment šroubů **$M_u = 6Nm$**

7.6 Výpočet potřebného tlaku v přísavce [8]

Příklad výpočtu sil působících na přísavky

7.6.1 Optimální poloha OM



Vertikální síla:

$$F_{V1} = m(g + a)k = 2 \cdot (9,81 + 1) \cdot 2 = 43,2N \quad (16)$$

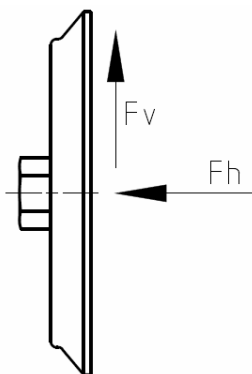
Horizontální síla:

$$F_{H1} = m \left(g + \frac{a}{\mu} \right) k = 2 \cdot \left(9,81 + \frac{1}{0,5} \right) \cdot 2 = 47,24N \quad (17)$$

Síla působící na jednu přísavku:

$$F_A = \frac{F_{H1}}{n} = \frac{47,24}{6} = 7,87N \quad (18)$$

7.6.2 Nevhodná poloha OM



Vertikální síla:

$$F_{V2} = \left(\frac{m}{\mu} \right) \cdot (g + a)k = \left(\frac{2}{0,5} \right) \cdot (9,81 + 1) \cdot 2 = 86,48N \quad (19)$$

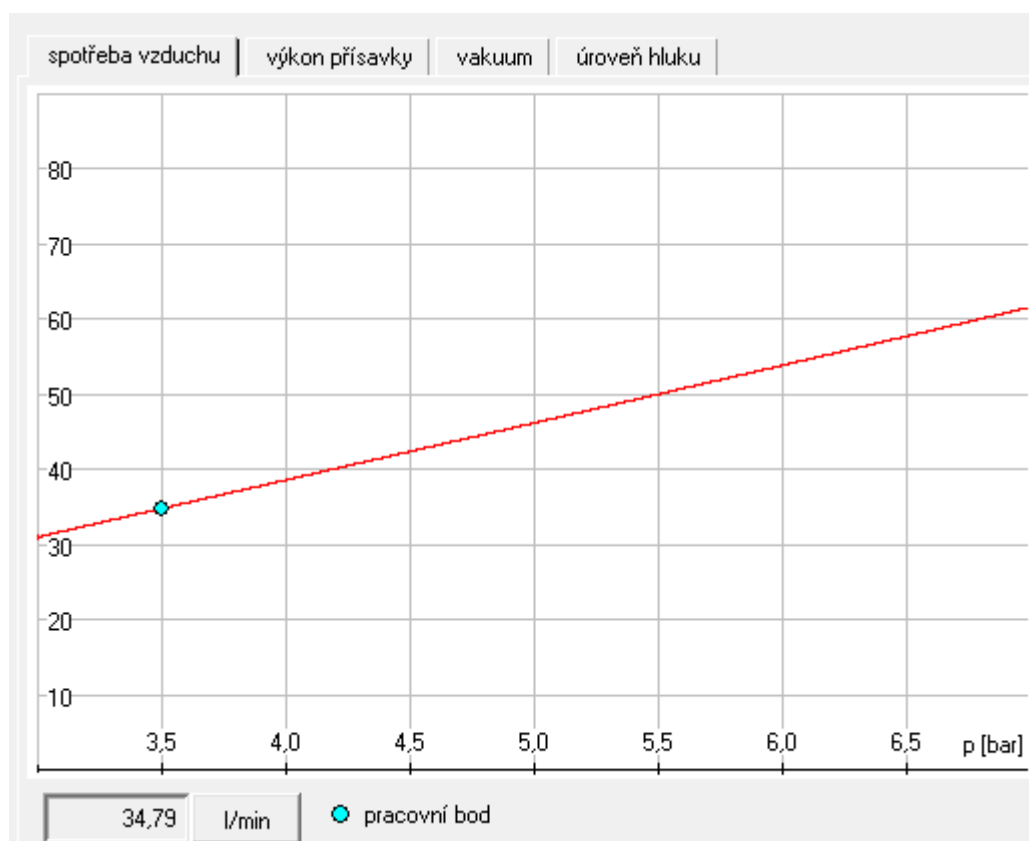
Síla působící na jednu přísavku:

$$F_A = \frac{F_{V2}}{n} = \frac{86,48}{6} = 14,41N \quad (20)$$

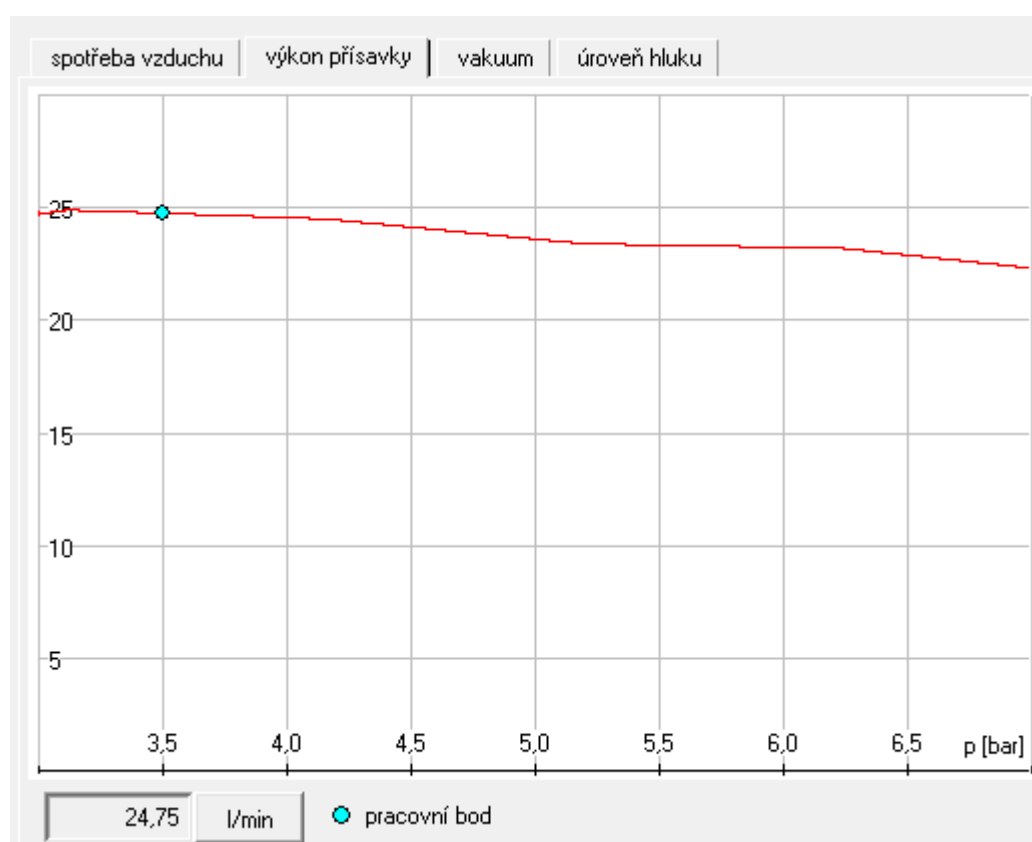
Obr. 30 Poloha OM

7.6.3 Výsledky výpočtu

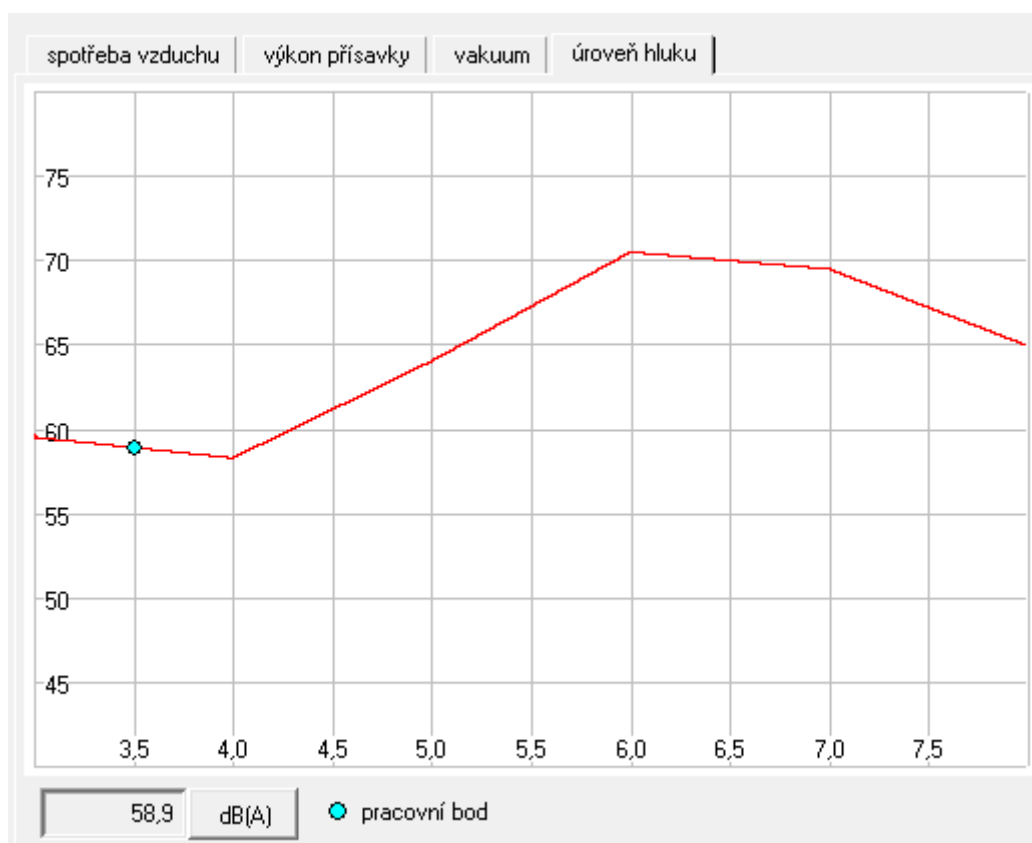
Výpočet potřebného podtlaku v přísavkách, resp. vstupního tlaku ejektoru byl proveden návrhovým softwarem Festo, ovšem délka hadic, která určuje ztráty, byla pro potřebu výpočtu pouze odhadnuta, jelikož nelze říci, jaká v praxi bude. Pokud bude požadován velmi přesný výpočet, bude nutné výpočet opakovat s přesnými vstupními hodnotami. To však téměř jistě nebude nutné, jelikož plocha přísavek je natolik velká, že jakkoliv rozměrný OM (při dodržení maximální přípustné hmotnosti) unese. Přísavky jsou záměrně předimenzovány, z důvodu charakteru OM, kterým je kartonový proklad, který by při působení sil na malé ploše mohl být doformován nebo protržen.



Obr. 31 Závislost spotřeby vzduchu na provozním tlaku [8]



Obr. 32 Závislost výkonu ejektoru na provozním tlaku [8]



Obr. 33 Závislost hlučnosti ejektoru na provozním tlaku [8]

8 Montáž efektoru

8.1 Montáž držáku přísavky

Čísla zde použitá odpovídají pozicím na sestavném výkresu držáku přísavky.

- Na držák Festo (7) našroubovat vedení jezdce (18) a matici M8 (6). Vnitřní závit držáku zajistit lepidlem na závity.
- Na tento celek nasadíte dlouhou pružinu (5) vedení jezdce (4) krátkou pružinu (2) a matici M6 (1) v tomto pořadí.
- Do držáku Festo (7) našroubujte nátrubek (20). Před jeho montáží obalte jeho závit teflonovou těsnicí páskou.
- K držáku Festo (7) přišroubujte přísavku (8)
- K dolní objímce (16) přinýtujte horní objímku (15) pomocí nýtu (17)
- Tento celek nasadíte na jezdce (4) a pomocí dvou matic (3) aretujete v požadované poloze
- K rameni efektoru upněte tento celek tak, že jej nasunete na rameno a posunete do oblasti, kde začíná drážka. Vezměte páku (14) vložte do ní čep (19) a našroubujte do něj šroub KIPP (9) tak, aby drážka sloužící k aretaci byla přístupná shora. Shora na horní objímku (15) položte opěrnou miskou

(12) a uložení excentru (13). Celek páky prostrčte horní objímkou a díly (12) a (13). Ze spodní části nasadte na šroub KIPP (9) podložku (11) a aretujte maticí (10)

- Délku šroubu KIPP (9) vhodně aretujte pomocí drážky na jeho horní straně

8.2 Montáž spojky rámu

Čísla zde použitá odpovídají pozicím na sestavném výkresu spojky rámu.

- Pákou (5) provlečte dvojitý čep (3) a do něj šroubujte šrouby KIPP (2) tak, aby drážka sloužící k aretaci byla přístupná od páky.
- Šrouby KIPP provlečte spojku (4) a našroubujte na ně tvarové matice (1) ty neutahujte! Nechejte mezi nimi a spojkou cca 4mm vůli (při stavu s uvolněnou pákou)
- Pod páku (5) vložte opěrnou miskou (6) a uložení excentru (7)

8.3 Montáž senzoru

Čísla zde použitá odpovídají pozicím na sestavném výkresu upevnění senzoru.

- Senzor (1) vložte díry v upevňovací desce (5) a aretujte v požadované poloze pomocí matic (2).
- Upevňovací deskou provlečte šrouby (3) s podložkami (6) a našroubujte na ně tvarové matice (4), ty neutahujte! Nechejte mezi nimi a spojkou cca 4mm vůli.

8.4 Montáž efektoru

Čísla zde použitá odpovídají pozicím na sestavném výkresu přísavkový efektor.

- K rameni (3) přišroubujte dvě spojky rámu (2) pomocí šroubů (5) podložek (jedné pod hlavou a druhé pod maticí) (6) a matic (7) tento postu opakujte pro všechna tři ramena, pouze u prostředního použijte spojku s jednotným excentrem a sníženou spojkou. Montáž snížené spojky viz. kap. 9.2 – montáž spojky rámu.
- T-spojkou (11) provlečte dva šrouby (8). Ke každému šroubu dejte dvě podložky (9) viz výkres sestavy. Celek nasadte na bok ramene (3) do předvrtaných děr tak, aby šrouby vystupovali na protější straně. Nasadte na ně podložku (9) a utáhněte maticemi (10).
- K těmto ramenům připojte držáky přísavek (4). Postu pro montáž viz kap. 9.1 montáž držáku přísavek.

- Na spodní stranu centrálního nosníku nasuňte ramena (viz předchozí odrážky) mezi dvě ramena vsuňte upevnění senzoru (18). Ramena aretujte utažením páky. Po první aretaci zvažte utažení nebo povolení šroubů KIPP které určují vyložení páky. Ty vhodně aretujte tak, aby páka nebyla volná, ani přepjatá. V případě upevnění senzoru tento celek posuňte drážkou do požadované polohy a utáhněte šrouby.
- Vezměte interface (21) a do jeho bočních děr vložte šrouby (24) s podložkami (6). Poté na tyto šrouby našroubujte matice (16) tak, aby mezi vnitřní stranou interface a maticí zůstala vůle cca 4mm.
- Interface nasad'te na centrální nosník dle výkresu, aretujte tak, aby se těžiště interfacu a centrálního nosníku při pohledu shora překrývala. Interface aretujte v požadované poloze pomocí bočních šroubů.
- Interface montujte k robotu pomocí střížného kolíku (22) a čtyř šroubů (23). Ty utáhněte momentem 6Nm.
- Upevňovací deskou (13) provlečte zespodu zápusťné šrouby (17) nasad'te na ně podložku (9) X-spojku (12) další podložku a matici (10) matice utáhněte.
- Shora do upevňovací desky vložte zápusťné šrouby (15) zespodu na ně nasad'te podložky (...) a našroubujte matici (16) tak, aby mezi spodní stranou podložky a maticí zůstala vůle cca 4mm.
- Zkrácenou upevňovací desku montujte stejným způsobem.
- Desky nasuňte do drážek centrálního nosníku (1) a ve vhodné poloze aretujte utažením šroubů (15).
- Ejektory k deskám připojte pomocí elektrikařských stahovacích pásků nebo poplastovaných kovových pásků dle vlastního uvážení.
- Ejektor středního ramene upněte k rameni stejným způsobem. Upněte jej v místě, kde jsou šrouby spojky (20) tak, aby pásek procházel mezi těmito šrouby a nebylo tedy možné jeho sklouznutí ze spojky a uvolnění ejektoru.
- Hadice od nátrubků ved'te do T-spojek, z T-spojek do ejektorů. Z ejektorů sved'te hadice do X-spojky. Hadice dle potřeby upevněte tak, jako ejektory.

9 Výsledné parametry efektoru

9.1 Výpočet maximální přípustné hmotnosti OM

Hmotnost OM byla stanovena již na počátku v požadavkovém listu, je však vhodné určit maximální nosnost konstrukce při maximálním přípustném průhybu jednotlivých ramen $W_{MAX} = 0,5mm$ a to při nejméně optimální poloze efektoru, tedy kdy je síla od OM rovnoběžná se dnem přísavky.

Výpočet maximální ohybové síly působící na centrální nosník v nejméně vhodné poloze:

$$W_{MAX y} = \frac{F_{CC} \cdot l^3}{3E \cdot J_y} \rightarrow F_{CC} = \frac{3E \cdot J_y \cdot W_{MAX y}}{l^3} = \frac{3 \cdot 71 \cdot 55400 \cdot 0,5}{421^3} = 0,079kN \rightarrow 79N \quad (21)$$

N ohyb centrálního nosníku působí také hmotnost ramene se dvěma držáky přísavek a dvěma spojkami rámu, po jejich odečtení dostaneme maximální sílu, kterou můžeme konec centrálního nosníku zatížit.

$$F_{CC MAX} = F_{CC} - (m_{RAM} + 2 \cdot m_{DP} + 2 \cdot m_{SR}) \cdot (g + a) \quad (22)$$

$$F_{CC MAX} = 79 - (0,336 + 2 \cdot 0,474 + 2 \cdot 0,169) \cdot (9,81 + 1) = \mathbf{61,46N} \quad (23)$$

Výpočet kvadratického modulu průřezu ramene:

$$J = \frac{C^4}{12} - \frac{c^4}{12} = \frac{1}{12} (C^4 - c^4) = \frac{1}{12} (20^4 - 14^4) = 10\,132mm^4 \quad (24)$$

Výpočet maximální ohybové síly působící na konec ramene:

$$W_{MAX RAM} = \frac{F_{CR} \cdot l^3}{3E \cdot J_y} \rightarrow F_{CR} = \frac{3E \cdot J_y \cdot W_{MAX y}}{l^3} = \frac{3 \cdot 75 \cdot 10132 \cdot 0,5}{288^3} = 0,047k \rightarrow 48N \quad (25)$$

N ohyb ramene působí také hmotnost držáku přísavek. Po jejím odečtení dostaneme maximální sílu, kterou můžeme konec ramene zatížit.

$$F_{CR MAX} = F_{CC} - m_{DP} \cdot (g + a) = 48 - 0,169 \cdot (9,81 + 1) = \mathbf{46, N} \quad (26)$$

Z předchozích výpočtů vyplývá, že kritickým prvkem konstrukce, co se ohybu týče, bude rameno. Bude to tedy průhyb ramene, který určí maximální nosnost efektoru.

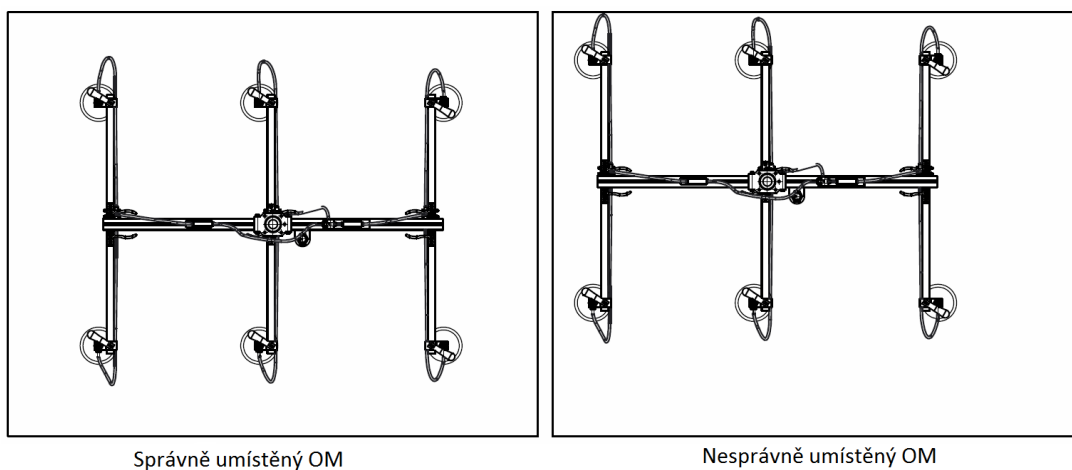
Maximální nosnost efektoru:

$$F_{CR MAX} = m_{OM} \cdot (g + a) \rightarrow m = \frac{F_{CR MAX}}{(g+a)} = \frac{61,46}{(9,81+1)} = 5,68kg \quad (27)$$

9.2 Bezpečnostní pokyny

Tyto pokyny jsou trvalé a mají za úkol zajistit bezproblémový chod efektoru, snížení riziko úrazu, případně poškození nebo zničení zařízení na minimum.

- Před spuštěním robotu zkontrolujte všechny hadice, zda nejsou prodřeny, odpojeny, případně těsnost nástrčných připojení.
- Po spuštění robotu proveďte kontrolu funkčnosti efektoru, a to tak, že aktivujete ejektory a přiložíte OM. Ten musí být uchycen pevně, nesmí být však pod tlakem nijak poškozen
- OM nesmí být perforovaný
- OM musí být suchý a čistý
- Všechny přísavky musí být na OM vhodně přitlačeny, aby byl zajištěn kontakt s povrchem
- Efektor nesmí přijít do styku s vodou, prachem apod. z důvodu zcela jistého ucpaní trysek ejektorů.
- Efektor nesmí být přetěžován, OM nesmí přesáhnout maximální přípustnou hmotnost, stanovenou na 2kg.
- Poloha OM musí být vhodně zajištěna k efektoru, viz Obr. 30 Ideálně tak, aby se těžiště efektoru shodovalo s těžištěm OM.



Obr. 34 Poloha OM

Použití OM s vyšší hmotnosti, než je stanoveno v zadání, je možné (dle kap. 10.1). Při překročení stanovené hmotnosti je však **nezbytné provést zcela nový návrh a výpočet prvků vakuové techniky.**

10 Závěr

Dle zadání byly vypracovány tři varianty, které se svou koncepcí zásadně lišily. Za pomoci metody hodnotové analýzy byla vybrána optimální varianta, ke které byla zpracována kompletní výkresová dokumentace a část výpočtů. Dle návrhového softwaru společnosti Festo byl proveden návrh všech prvků vakuového obvodu na efektoru.

Dále byl vypracován montážní postup a bezpečnostní pokyny pro práci s efektozem, které musí být dodrženy. K nejdůležitějším patří zajištění hladkého nepoškozeného a čistého povrchu OM a také dodržení maximálních přípustných rychlostí a zrychlení robotu.

11 Použitá literatura

11.1 Odkazy

- [1] Vakuová technika. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-10-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Vakuová_technika
- [2] DIRECT INDUSTRY. *Přísavkový manipulátor* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/smi-handling-systeme-gmbh/8-pads-vacuum-lifters-sheet-metal-97429-894863.html>
- [3] ERBEN, Milan. *Vakuová technika* [cit. 2010-03-17] Dostupný z: http://webak.upce.cz/~koanch/DOWNLOAD/Ucebni%20texty/Skriptum_vacuum.pdf
- [4] FIPA. *Přísavky* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.fipa.com/en_US/products/213408-48mm/25/1
- [5] ALLVAC. *Přísavky* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.allvacindustries.com/pages/vacuum_suction_cups/2.php
- [6] HABERKORN - ULMER. *Stavebnicové profily* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.item24.cz/en/home/products/building-kit-systems/mb-building-kit-system.html>
- [7] KIPP. *Excentrické páky* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.kipp.at/cz/cs/Produkty/Ovl%C3%A1dac%C3%AD-prvky-normovan%C3%A9-d%C3%ADly/Sv%C4%9Brac%C3%AD-p%C3%A1ky-up%C3%ADnac%C3%AD-p%C3%A1ky-excentrick%C3%A9-p%C3%A1ky/K0006-Excentrick%C3%A9-p%C3%A1ky-nastaviteln%C3%A9-s%C2%A0vn%C4%9Bj%C5%A1%C3%ADm-z%C3%A1vitem-ocel-nebo-nerezov%C3%A1-ocel.html>
- [8] FESTO. *Vakuová technika* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm
- [9] ESSENTRA. *Poplastované nerezové pásky* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.essentracomponents.cz/poplastovana-nerezova-paska-s-perforaci-876013>
- [10] PANASONIC. *FOTOELEKTRICKÝ DIFUZNÍ SENZOR* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Panasonic%20Sensors%20PDFs/CY_Series.pdf
- [11] KALÁB, Květoslav. VŠB - TU OSTRAVA. *Výpočet dynamického šroubu* [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.347.vsb.cz/files/kal01/prirucka-dynamickysroub.pdf>

- [12] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. 2011. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, xiv, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [13] KÁRNÍK, Ladislav. 2006. *Periferní zařízení RTP*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 127 s. ISBN 80-248-1221-5.
- [14] KÁRNÍK, Ladislav. 2004. *Servisní roboty*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 139 s. ISBN 80-248-0626-6.

12 Seznam příloh

Výkres sestavy:	Přísavkový efektor	VOC0012 – SES – 01
Výkresy podsestav:	Držák přísavky	VOC0012 – SES – 01_1
	Spojka rámu	VOC0012 – SES – 01_2
	Upevnění senzoru	VOC0012 – SES – 01_3
Výrobní výkresy:	Vedení jezdce	VOC0012 – VV – 01
	Jezdec M14	VOC0012 – VV – 02
	Objímka – spodní část	VOC0012 – VV – 03
	Objímka – horní část	VOC0012 – VV – 04
	Rameno	VOC0012 – VV – 05
	Příruba	VOC0012 – VV – 06
Katalogové listy:	Ejektory FESTO	VN_CZ
	Šroubení FESTO	QS_CZ
	Senzor	CY100
	Excentrické páky KIPP	140604

ELEKTRONICKÁ PODOBA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

CD-ROM:	Bakalářská práce
	Model
	Výkresová dokumentace
	Přílohy
	Záznam o závěrečné práci